

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**EDUIL NASCIMENTO JUNIOR**

**IMPLANTAÇÃO DE ALGORITMO PARA ANÁLISE DE  
RADIOPROPAGAÇÃO EM APLICAÇÕES DE SEGURANÇA PÚBLICA**

**CURITIBA  
2013**

**EDUIL NASCIMENTO JUNIOR**

**DISSERTAÇÃO**

**IMPLANTAÇÃO DE ALGORITMO PARA ANÁLISE DE  
RADIOPROPAGAÇÃO EM APLICAÇÕES DE SEGURANÇA PÚBLICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Horácio Tertuliano dos Santos Filho, Ph.D.

Co-orientador: Prof. José Ricardo Descardecí, Ph.D. – Universidade Federal do Tocantins.

**CURITIBA  
2013**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**EDUIL NASCIMENTO JUNIOR**

**IMPLANTAÇÃO DE ALGORITMO PARA ANÁLISE DE  
RADIOPROPAÇÃO EM APLICAÇÕES DE SEGURANÇA  
PÚBLICA**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, pelo Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:




\_\_\_\_\_  
**Prof. Ph.D. Horácio Tertuliano dos Santos Filho - Orientador**  
Universidade Federal do Paraná



\_\_\_\_\_  
**Prof. Ph.D. José Ricardo Descardec – Co-orientador**  
Universidade Federal do Tocantins



\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Bertoldo Schneider Junior**  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. César Augusto Dartora**  
Universidade Federal do Paraná



\_\_\_\_\_  
**Prof. Ph.D. André Augusto Mariano**  
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 27 de setembro de 2013.

## DEDICATÓRIA

*Primeiramente a Deus por permitir enfrentar e concluir este desafio.  
A minha esposa e filhos pela presença e apoio que sempre me dão.*



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Doutor Horácio Tertuliano Filho, por ter incentivado e orientado durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Doutor José Ricardo Descardecí, pela co-orientação e participação nos testes.

Agradecimento especial às senhoras Regina Maria Filomena de Luca Miki, Secretária Nacional de Segurança Pública, Cristina Gross Villanova, Diretora do Departamento de Políticas, Programas e Projetos da Senasp, Sr. Wesley da Silva Borges, Engenheiro do Depro-Senasp, Sr. José Afonso Cosmo Júnior, Gerente de Engenharia de Espectro – Anatel, Sr. Rodrigo de Araújo Granato, Anatel, Sr. Emyr Antônio Gyacomét, Sr. Carnot (Anatel/PA), aos representantes das empresas Motorola *Solutions*, Tait, e Teltronic, pela colaboração e participação dos testes, desde o planejamento até a disponibilização dos meios e recursos necessários, para condução dos trabalhos. Enfim pelo empenho de todos que contribuíram sobremaneira para que fosse possível o desenvolvimento dos testes em região remota e inóspita como a floresta amazônica no entorno do município de Oriximiná no interior do Estado do Pará.

## EPÍGRAFE

***"O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano".***  
(Issac Newton)

***"Somente um principiante que não sabe nada sobre ciência diria que a ciência descarta a fé. Se você realmente estudar a ciência, ela certamente o levará para mais perto de Deus".***

(James Clerk Maxwell)

## **RESUMO**

Órgãos de segurança pública possuem grande demanda de serviços de radiocomunicação, o que se apresenta de forma mais acentuada com a chegada de eventos como a Copa do mundo de Futebol de 2014 e as olimpíadas de 2016. Para auxiliar estas demandas foi proposto e implantado um algoritmo de predição de cobertura, para visualização do alcance de sinais radioelétricos sobre o terreno considerando-se a topografia e a morfologia do local. A validação do algoritmo ocorre com a comparação de resultados de predições em outros programas e com a medição em campo. As medições em campo foram orientadas por técnicos da Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel, em parceria com professores orientadores desta dissertação. O trabalho apresenta uma análise de dados de cobertura de radiopropagação nos sistemas de segurança pública, pode auxiliar nas escolhas e decisões de investimentos neste setor. Pode ser empregado no planejamento e gestão de redes de radiocomunicação e ainda ser utilizado para ensino, e servir de base para novos trabalhos.

Palavras-chave: radiopropagação, segurança pública, projeto, predição de cobertura.

## **ABSTRACT**

Public security organs have great demand for radiocommunication services, which presents itself in a more accentuated with the arrival of events such as the soccer World Cup of 2014 and the Olympics in 2016. To assist these demands was proposed and deployed a coverage prediction algorithm, for viewing the reach of radio electrical signs on the ground considering the topography and morphology of the site. Algorithm validation occurs with the comparison of results of predictions in other programs and with the measurement in the field. Field measurements were driven by technicians of the National Agency of Telecommunications – Anatel in partnership with teachers guiding of this dissertation. The work presents an analysis of radio propagation coverage data in public safety systems, can assist in the choices and decisions of investments in this sector. Can be used in the planning and management of radiocommunication networks and still being used for training, and serve as a basis for further work.

Key-words: radio propagation, public safety, design, coverage prediction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1, Fluxograma da metodologia proposta .....	22
Figura 2, Princípio de Huygens .....	30
Figura 3, Difração diante de obstáculo .....	30
Figura 4, Zona de Fresnel .....	32
Figura 5, Corte na elipsóide de Fresnel .....	33
Figura 6, Difração por gume de faca .....	34
Figura 7, Curva de atenuação média $A(f,d)$ .....	37
Figura 8, Fator de correção por tipo de ambiente .....	38
Figura 9, Perdas no modelo Okumura-Hata.....	40
Figura 10, Decaimento e ponto de intersecção derivados de medidas reais .....	42
Figura 11, Determinação do ponto especular e altura efetiva Geffh. ....	44
Figura 12, Atenuação de referência ( $W_0$ ) em função da distância.....	47
Figura 13, Fluxograma de metodologia para concepção de projetos de RF .....	52
Figura 14, Mapa de cobertura GSM de Curitiba e Litoral .....	55
Figura 15, Mapa de cobertura 3G .....	55
Figura 16, Mapa de cobertura 4G .....	56
Figura 17, Posição das ERB's no Paraná.....	56
Figura 18, Mapa de cobertura GSM em Curitiba.....	57
Figura 19, Mapa de cobertura 3G .....	57
Figura 20, Mapa de cobertura 4G .....	58
Figura 21, Imagem da topografia de Oriximiná/PA no Radio Móbile.....	59
Figura 22, Enlace entre a ERB e um ponto de Oriximiná no Radio Móbile .....	60
Figura 23, Medidas de potência recebida com Rádio Móbile.....	62
Figura 24, Cobertura visual de Oriximiná com <i>Rádio Móbile</i> .....	62
Figura 25, Imagem da topografia de Oriximiná no Celplaner .....	64
Figura 26, Enlace entre a ERB e um ponto de Oriximiná no <i>Celplaner</i> .....	64
Figura 27, Imagem 3D monocromática de Oriximiná no <i>Celplaner</i> .....	65
Figura 28, Imagem 3D colorida de Oriximiná no <i>Celplaner</i> .....	65
Figura 29, Medidas de potência recebida com <i>Celplaner</i> .....	67

Figura 30, Resultado da solicitação de mapa <i>Google API</i> .....	73
Figura 31, Tela inicial com <i>login</i> e senha .....	74
Figura 32, Tela de entrada de dados do algoritmo.....	75
Figura 33, Menus de opções de sistema e região.....	75
Figura 34, Vista de Oriximiná no algoritmo .....	76
Figura 35, Mapa de Curitiba, ângulo e círculo de cobertura.....	77
Figura 36, Perfil e elevação do terreno .....	77
Figura 37, Perfil do terreno e decaimento de potência no algoritmo. ....	78
Figura 38, Imagem 3D monocromática gerada no algoritmo .....	79
Figura 39, Imagem 3D monocromática com pontos de medição .....	79
Figura 40, Medidas de potência recebida com Algoritmo.....	82
Figura 41, Fluxograma do algoritmo desenvolvido em Matlab® .....	82
Figura 42, Pontos de teste em Oriximiná/PA.....	90
Figura 43, Esquema antena e analisador e espectro .....	91
Figura 44, GPS Marca Garmin.....	91
Figura 45, Torre ERB Oriximiná .....	92
Figura 46, Repetidor <i>TAIT</i> modelo TB9100.....	93
Figura 47, Rádio móvel marca <i>TAIT</i> , modelo TM9155.....	93
Figura 48, Rádio portátil marca <i>TAIT</i> modelo TP9100 .....	94
Figura 49, Repetidor <i>Motorola</i> modelo Quantar .....	95
Figura 50, Rádio portátil <i>Motorola</i> modelo XTS 2250.....	95
Figura 51, Equipamento de Controle do Repetidor <i>Teltronic</i> , Modelo MBS .....	96
Figura 52, Rádio portátil <i>Teltronic</i> modelo HTT500.....	97
Figura 53, Vista frontal rádio móvel <i>Teltronic</i> , modelo MDT – 400.....	97
Figura 54, Medidas apresentadas pelas empresas .....	99
Figura 55, Medidas apresentadas pela Anatel .....	99
Figura 56, Pontos do teste no <i>software Radio Móbile</i> .....	101
Figura 57, Cobertura de Oriximiná em APCO-25 .....	101
Figura 58, Cobertura de Oriximiná em TETRA.....	102
Figura 59, Predição de cobertura APCO-25 no algoritmo .....	103
Figura 60, Predição de cobertura TETRA no algoritmo.....	103

Figura 61, Comparação 3 sistemas no <i>Rádio Móbile</i> .....	104
Figura 62, Comparação 3 sistemas no <i>Celplanner</i> .....	105
Figura 63, Comparação 3 sistemas no Algoritmo.....	105
Figura 64, Comparação resultados APCO-25 Motorola .....	106
Figura 65, Comparação resultados APCO-25 Tait.....	106
Figura 66, Comparação resultados TETRA-Teltronic.....	107
Figura 67, QQplot dos três sistemas no Radiomóbile .....	109
Figura 68, QQplot dos três sistemas no Celplanner.....	109
Figura 69, QQplot dos três sistemas no Algoritmo .....	110
Figura 70, Percentual de cobertura APCO-25 TAIT no algoritmo .....	111
Figura 71, Percentual de cobertura TETRA Teltronic no algoritmo .....	111

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aspectos Gerais de Rádio-Propagação – faixas VHF e UHF.....	26
Tabela 2 – Fator de ajuste de frequência – Modelo Lee .....	42
Tabela 3 – Modelos de Propagação.....	47
Tabela 4 – Níveis de recepção de sinal no Rádio Móvel.....	61
Tabela 5 – Níveis de recepção de sinal no <i>Celplanner</i> .....	66
Tabela 6 – Níveis de recepção de sinal no Algoritmo .....	81
Tabela 7 – Pontos, elevação, coordenadas e distâncias medidas nos testes.....	89
Tabela 8 – Equipamentos de comunicação – sistema 1 .....	92
Tabela 9 – Equipamentos de comunicação – sistema 2 .....	94
Tabela 10 – Equipamentos de comunicação – sistema 3 .....	96
Tabela 11 – Dados medidos em Oriximiná .....	98
Tabela 12 – Teste Chi-quadrado dos programas .....	108



## LISTA DE SIGLAS

AES	– <i>Advanced Encryption System</i>
AMPS	– <i>Advanced Mobile Phone System</i>
ANATEL	– Agência Nacional de Telecomunicações
APCO-25	– <i>Association of Public Safety Communications Officials – Project 25</i>
API	– <i>Application Programming Interface</i>
C4FM	– Modulação FM com desvio em 4 fases
CAI	– Interface Aérea Comum
CDMA	– Acesso Múltiplo por Divisão de Código
COST	– <i>European Cooperation in Science and Technology</i>
CQPSK	– <i>Coherent Quadrature Phase Shift Keying</i>
CTCSS	– <i>Continuous Tone-Coded Squelch System</i>
DCS	– <i>Digital Coded Squelch</i>
DES	– <i>Data Encryption Standard</i>
DES-OFB	– <i>Data Encryption Standard – Output Feed Back</i>
DQPSK	– <i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i>
ENAFRON	– Estratégia Nacional de Fronteiras
ERB	– Estação Rádio Base
FDMA	– Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência
FM	– Frequência Modulada
GSM	– <i>Global System for Mobile Communications</i>
GT	– Grupo de Trabalho
HTTP	– Protocolo de Transferência de Hipertexto
IMBE	– <i>Improved Multi-Band Excitation</i>
IP	– <i>Internet Protocol</i>
ISDN	– <i>Integrated Services Digital Network</i>
ITU	– <i>International Telecommunication Union</i>
LDU	– <i>Logical Data Unit</i>
LMDS	– <i>Logical Multipoint Distribution System</i>
LTE	– <i>Long Term Evolution</i>

MATLAB	– <i>Matrix Laboratory</i>
MMDS	– <i>Multichannel Multipoint Distribution Service</i>
MPT-1327	– <i>Padrão de Rádio Troncalizado Analógico</i>
NAC	– <i>Network Access Code</i>
OCR	– <i>Optical Character Recognition</i>
OTAR	– <i>Over The Air Rekeying</i>
PADDFFB	– Plano de Atribuição Destinação e Distribuição de Frequências no Brasil
PCM	– <i>Pulse Code Modulation</i>
PNBL	– Plano Nacional de Banda Larga
PSTN	– <i>Public Switched Telephone Network</i>
QPSK	– <i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RF	– Radiofrequência
SENASP	– Secretaria Nacional de Segurança Pública
SMS	– <i>Short message service</i>
SRTM	– Missão Topográfica Radar <i>Shuttle</i>
TDMA	– Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo
TETRA	– <i>Terrestrial Trunked Radio</i>
TETRAPOL	– <i>Digital Trunked Radio Solution</i>
TV	– Televisão
UHF	– <i>Ultra High Frequency</i>
URL	– Localizador Padrão de Recursos
VHF	– <i>Very High Frequency</i>
Vocoder	– Codificador de Voz
WCDMA	– Acesso Múltiplo por Divisão de Código em Banda Larga

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Az$	- Azimute entre dois pontos
$D$	- Distância ortodrômica
$PR$	- Potência recebida
$PT$	- Potência transmitida
$\lambda$	- comprimento de onda
$GT$	- Ganho da antena de transmissão
$GR$	- Ganho da antena de recepção
$Lo$	- Perda ou atenuação no espaço livre em decibéis
$d$	- Distância em quilômetros
$f$	- Frequência em MHz
$\Delta l$	- Diferença entre percursos
$r_n$	- raio da zona de Fresnel em metros
$n$	- número da zona de Fresnel
$d_1$	- distância entre o transmissor e o obstáculo em metros
$d_2$	- distância entre o receptor e o obstáculo em metros
$D$	- distância entre o transmissor e o receptor em metros
$\nu$	- parâmetro de difração de Fresnel-Kirchhoff
$E_o$	- intensidade de campo elétrico no espaço livre
$F(\nu)$	- integral complexa de Fresnel
$G_d$	- ganho de difração por gume de faca
$L_{ok}$	- valor médio das perdas por propagação (dB)
$L_o$	- perda por propagação no espaço livre (dB)
$A_{mu}$	- atenuação média no espaço livre encontrada nas curvas de Okumura, depende da frequência e da distância do transmissor e do receptor (dB);
$(h_t)$	- fator de ganho da estação transmissora (dB);
$G(h_r)$	- fator de ganho da estação receptora (dB);

$L_H$	- Valor médio de perdas devido ao caminho de propagação em área urbana (dB);
$h_{te}$	- altura efetiva da estação transmissora (m);
$h_{re}$	- altura efetiva da estação receptora (m);
$d$	- distância entre o transmissor e o receptor (km);
$a(h_{re})$	- fator de correção da antena do receptor móvel;
$P_r$	- Potência recebida (dBm);
$P_o$	- Potência recebida no ponto de referência (dBm);
$\gamma$	- Decaimento da atenuação da propagação ou fator de rugosidade do terreno (dB/Década);
$r$	- distância entre estação base e móvel (km);
$r_o$	- distância entre estação base e ponto de referência (km);
$A_f$	- Fator de ajuste da frequência (dB);
$G_{effh}$	- Ganho em função da altura, depende da altura efetiva da antena ( $h_e$ ) [m] e da altura real desta ( $h_l$ ) [m];
$L(v)$	- perdas por difração no terreno (dB);
$\alpha$	- Fator de ajuste do sinal.
$P_t$	- Potência de emissão da estação base (W);
$P_{tp}$	- Potência de emissão padrão da estação base (W);
$H_1$	- Altura da antena da estação base (m);
$H_{1p}$	- Altura padrão da antena da estação base (m);
$H_2$	- Altura da antena da estação móvel (m);
$H_{2p}$	- Altura padrão da antena da estação móvel (m);
$G_r$	- Ganho da antena da estação base (dBd);
$G_{rp}$	- Ganho padrão da antena da estação base (dBd);
$G_m$	- Ganho da antena da estação móvel (dBd);
$G_{mp}$	- Ganho padrão da antena da estação móvel.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1    MOTIVAÇÃO .....	19
1.2    OBJETIVOS .....	20
1.2.1    Objetivo Geral .....	20
1.2.2    Objetivo Específico .....	20
1.3    JUSTIFICATIVA .....	20
1.4    METODOLOGIA .....	21
1.5    ESTRUTURA .....	23
1.6    CONTRIBUIÇÕES .....	23
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO 2 PRINCÍPIOS DE RADIOPROPAGAÇÃO E MODELOS MAIS UTILIZADOS .....</b>	<b>25</b>
2.1    INTRODUÇÃO .....	25
2.2    PARÂMETROS DE UM RÁDIO ENLACE .....	27
2.2.1    Difração .....	29
2.2.2    Zona de Fresnel .....	31
2.2.3    Difração por gume de faca .....	34
2.3    MODELOS DE PROPAGAÇÃO .....	35
2.3.1    Modelo de Okumura .....	36
2.3.2    Modelo de Hata .....	39
2.3.3    Modelo de Lee .....	41
2.3.4    Modelo de Longley-Rice .....	45
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO 3 SOFTWARES DE ANÁLISE DE COBERTURA .....</b>	<b>51</b>
3.1    INTRODUÇÃO .....	51
3.2    CARACTERÍSTICAS DE UM SOFTWARE DE COBERTURA .....	51
3.2.1    Bases de Dados .....	53
3.2.2    Mapas de cobertura .....	54
3.3    SOFTWARE RÁDIO MÓBILE .....	58

3.4	SOFTWARE CELPLANNER.....	63
<b>CONCLUSÃO .....</b>		<b>67</b>
<b>CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO .....</b>		<b>71</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	71
4.2	MATLAB.....	71
4.3	O ALGORITMO.....	73
<b>CONCLUSÃO .....</b>		<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>		<b>85</b>
<b>CAPÍTULO 5 IMPLANTAÇÃO, E VALIDAÇÃO DO ALGORITMO.....</b>		<b>86</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	86
5.2	TESTES.....	87
5.2.1	Equipamentos utilizados para medição .....	90
5.2.2	Equipamentos utilizados para comunicação .....	92
5.2.3	Resultados de campo .....	97
5.3	PREDIÇÃO DE COBERTURA.....	100
5.4	COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS .....	104
<b>CONCLUSÃO .....</b>		<b>113</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>		<b>114</b>
<b>CONTRIBUIÇÕES.....</b>		<b>115</b>
<b>PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>		<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS GERAL .....</b>		<b>117</b>
<b>APÊNDICE.....</b>		<b>122</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>136</b>

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A análise de radiopropagação é uma tarefa que requer conhecimento técnico específico e tempo para que sejam obtidos resultados adequados e com a maior precisão possível. Uma forma de reduzir o tempo gasto em um projeto de radiofrequência (RF), é a utilização de *softwares* para predição e análise de enlaces de rádio. Um *software* normalmente é composto de um conjunto de algoritmos computacionais que realizam as tarefas de inúmeros cálculos matemáticos, associados às expressões físicas de eletromagnetismo, o que produz como resultado final uma simulação com determinado grau de aproximação da realidade.

Os órgãos de segurança pública brasileiros trabalham com redes de radiocomunicação com grande variedade quanto ao tipo, aplicação, dimensão, esfera de atribuição do respectivo órgão policial ou força entre outros. Como exemplo pode-se comparar as diferenças de redes de rádio da Guarda Municipal de Curitiba, da Polícia Militar do Paraná e da Polícia Rodoviária Federal, no Estado do Paraná. Estes três órgãos possuem características e aplicações bem distintas, conforme a destinação final de cada um.

Este trabalho busca focar nos sistemas de radiocomunicações dos organismos de segurança pública do Brasil, priorizando as aplicações das polícias militares, por serem estas as maiores operadoras deste tipo de recurso. O problema surge no momento do mapeamento completo da rede, ou ainda em casos de expansão ou novos projetos, pois sem ferramentas adequadas, a tendência é de resultados pouco satisfatórios ou incorretos sobre o sistema de radiocomunicação a ser utilizado.

Para tanto o uso de programas de análise e predição de cobertura ou a implantação de um algoritmo para esta finalidade supre uma lacuna presente nas diversas polícias militares do país. Este fato é denotado até porque os investimentos públicos não são contínuos e em alguns casos pode até ser entendido pela administração pública que a aquisição de um programa para projetos de RF não é objeto relacionado com a atividade fim de Polícia Militar.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

A Lei 9.472/1997 - Lei Geral das Telecomunicações [1], preceitua que os órgãos de segurança pública classificados como polícia ou bombeiros, gozam de isenção de taxas, e de abatimentos nos custos dos preços públicos. Desta forma estes organismos possuem um menor custo para aprovação de projetos de radiocomunicações, bem como na obtenção do licenciamento de suas estações. Entretanto diferentemente das Forças Armadas, as polícias necessitam aprovar junto à Anatel os seus projetos para ocupação de frequências e o cadastramento de estações. No caso das Forças Armadas, devido à aplicação, a necessidade de mobilidade em todo o território nacional e a velocidade de resposta requerida, as exigências para homologação de frequências são dispensadas pela Anatel. Não havendo, portanto necessidade de aprovação de projetos para licenciamento de estações ou ocupação de canais. Desta forma as Forças Armadas precisam apenas respeitar suas faixas de espectro de frequências, que são subdivididas e distribuídas pela Anatel, conforme o PADDFB (Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil)[2].

A partir da busca de uma melhor eficiência espectral a Anatel passou a editar resoluções para regular e disciplinar as faixas de frequência, tipos de serviço entre outros. A faixa de 450-470 MHz, por exemplo, que era ocupada ante 2010 por órgãos de segurança pública e passou a ser destinada ao PNBL (Programa Nacional de Banda Larga) [3]. Sendo a partir deste ato destinado aos órgãos de segurança pública a faixa de 380 MHz.

Na consideração da nova faixa de frequência de 380 MHz, conforme contido na resolução nº 557 da Anatel [4] os padrões conhecidos e disponíveis no mercado para segurança pública são: APCO-25 [5], TETRA [6] e TETRAPOL [7]. Existe um cenário complexo para padronização de radiocomunicação de segurança pública. Esta complexidade deve-se às dimensões e diversidade geográfica do país devido a sua extensão, variações de topografia e morfologia somadas às condições específicas de cada localidade, o que dificulta a escolha de um padrão ideal a ser adotado no Brasil.



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Entender as principais características de um programa de predição de cobertura e análise de radiopropagação e implantar um algoritmo para realização destas tarefas na faixa de frequência de segurança pública.

### 1.2.2 Objetivo Específico

Após a verificação do objetivo geral, o propósito específico é validar o algoritmo implantado através da comparação com programas utilizados em projetos de RF e com testes de campo, para isso pretende-se:

- Estudar os princípios de radiopropagação e os modelos mais utilizados;
- Apresentar os padrões APCO-25, TETRA e TETRAPOL, suas vantagens e desvantagens;
- Realizar um estudo de caso com medições;
- Desenvolver um algoritmo de predição de cobertura de rádio em VHF e UHF.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Propor um algoritmo de estudo de cobertura de rádio para segurança pública, pode parecer inicialmente uma tarefa relativamente simples, porém na medida em que os conhecimentos sobre o tema vão sendo ampliados, o grau de complexidade segue na mesma direção. Numa consideração inicial, imagina-se que bastam algumas definições técnicas associadas a um conjunto de equações e ao final têm-se como resultado o algoritmo desejado. Por outro lado, questões como adequação às normas

vigentes, as necessidades de comunicação além da voz, precisão entre outros são variáveis preponderantes na concepção do algoritmo. Isto posto, para atender estas características, o algoritmo precisa corresponder à realidade mesmo com variações de terreno, temperatura, ambiente, clima, vegetação, e urbanização para auxiliar órgãos de segurança pública em projetos e gestão de radiocomunicações.

Um fator importante e que não pode ser negligenciado pelos órgãos de segurança pública é a interoperabilidade. Para Torres do Amaral, a grande questão neste segmento tecnológico está centrada na interoperabilidade e integração dos novos padrões de rádio digital com as antigas redes analógicas [9]. Desta forma integrantes de diferentes forças poderiam comunicar-se com facilidade, e em casos de extrema urgência ou necessidade policiais da região sul do país poderiam levar seus rádios e comunicar-se na região norte ou nordeste, por exemplo o que hoje não ocorre. Para isto um estudo completo de RF permitiria a obtenção de mapas de cobertura, a partir de onde é possível o planejamento das intersecções necessárias à interoperabilidade. Um algoritmo adequado permitiria o mapeamento e as considerações necessárias para esse propósito.

#### 1.4 METODOLOGIA

O estudo dos princípios de radiopropagação, dos modelos mais utilizados, dos padrões de radiocomunicação digital de segurança pública será realizado a partir de consulta em artigos científicos, revistas especializadas, sítios eletrônicos. Pretende-se conhecer aplicações de eletromagnetismo, comportamento de sinais radioelétricos frente a obstáculos, variações topográficas, entre outros. O propósito é a reunião de informações sobre o tema para obter conclusões suficientes a fim de evitar afirmações generalistas e superficiais sobre o assunto.

Com base em tais informações e nos princípios de radiopropagação, pretende-se implantar o algoritmo de predição e compará-lo com programas existentes, a fim de validar a aplicabilidade do algoritmo proposto, bem como definir as características para uso da ferramenta.

Um fluxograma que permite visualizar a metodologia proposta sob o aspecto do algoritmo é apresentado na Figura 1.

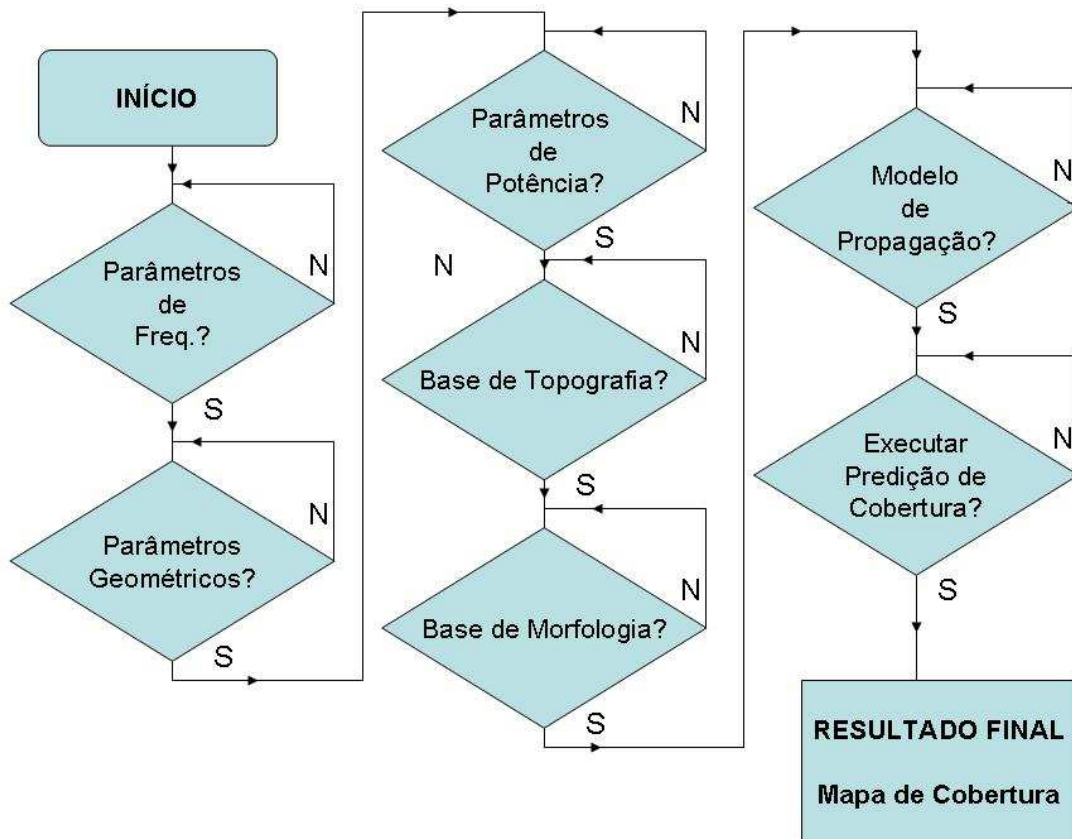


Figura 1, Fluxograma da metodologia proposta  
Fonte: O autor

Da Figura 1, verifica-se que as três decisões iniciais a serem tomadas com o algoritmo pretendido é a definição dos parâmetros de frequência, de potência e geometria do enlace. No instante seguinte, pretende-se definir as informações de topografia e morfologia. Vencidas estas etapas anteriores, o objetivo é a tomada de decisão quanto ao modelo de propagação, e por fim será decidido sobre a execução da predição de cobertura, para apresentação do resultado final na forma de um mapa de cobertura para o serviço ou sistema desejado.

## 1.5 ESTRUTURA

A dissertação estará dividida em capítulos conforme os objetivos e dispostos da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Introdução, com breves esclarecimentos sobre o propósito do trabalho.

Capítulo 2 – Princípios de radiopropagação e modelos mais utilizados, este capítulo tem por objetivo apresentar a base de equações a ser utilizada no algoritmo proposto.

Capítulo 3 – Softwares de Análise de Cobertura, neste capítulo são apresentadas algumas características desejáveis em programas de cobertura e ainda exemplos de aplicação.

Capítulo 4 – Implementação do Algoritmo, neste capítulo é apresentada a concepção do algoritmo, bem como alguns resultados obtidos com o mesmo.

Capítulo 5 – Estudo de caso e medições onde apresentam-se medidas de campo.

## 1.6 CONTRIBUIÇÕES

Dentre as contribuições esperadas têm-se o auxílio em projetos e gestão de RF para órgãos de segurança pública.

O uso didático desta ferramenta como recurso acadêmico de ensino e pesquisa nesta área.

Constituir uma fonte aberta para novos trabalhos.

Espera-se que a principal contribuição deste trabalho seja o desenvolvimento e implantação de um algoritmo de rádio propagação, cuja aplicabilidade e foco será a comunicação voltada para segurança pública.

## REFERÊNCIAS

- [1] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei Geral das Telecomunicações**. Casa Civil – Lei nº 9.472 de 16 de julho de 1997.
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **PADFFB – Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil**. Brasília, Conselho Diretor da Anatel - Ato nº 2099 de 14 de abril de 2012.
- [3] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **PNBL Programa Nacional de Banda Larga**. Casa Civil – Decreto nº 7.175 de 12 de maio de 2010.
- [4] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Resolução nº 557**. Brasília, Conselho Diretor da Anatel – 20 de dezembro de 2010.
- [5] APCO – **Padrão APCO-25** - Disponível em: <<http://www.apco911.org/>>. Acesso em junho de 2012.
- [6] TETRA – **Padrão TETRA** - Disponível em: <<http://mundotetra.com>>. Acesso em: junho 2012.
- [7] TETRAPOL – **Padrão TETRAPOL** - Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtetrapol/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtetrapol/pagina_1.asp)>. Acesso em: maio 2012.
- [8] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Normas para licitações e contratos da administração pública**. Casa Civil – Lei nº 8.666 de 21 de junho de 1993.
- [9] TORRES do Amaral, Cristiano. **Interoperabilidade nos Padrões de Rádio Troncalizado Digital**. Belo Horizonte, Universidade Federal Fluminense, 2006 – Centro de Estudos de Pessoal – Exército Brasileiro, Belo Horizonte, 2006.
- [10] UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Teses, dissertações, monografias e trabalhos acadêmicos**. Curitiba: Editora UFPR, 2000. (Normas para apresentação de documentos científicos,2).

## CAPÍTULO 2 PRINCÍPIOS DE RADIOPROPAGAÇÃO E MODELOS MAIS UTILIZADOS

*Este capítulo apresenta alguns princípios de radiopropagação, assim como os modelos de propagação mais utilizados e que serviram de base para este trabalho. A compreensão dos fenômenos eletromagnéticos a partir das equações, e a observação dos efeitos de degradação de sinal no espaço livre e diante de obstáculos, formam a base para implantação do algoritmo proposto neste trabalho;*

### 2.1 INTRODUÇÃO

O nível de desenvolvimento tecnológico observado no mercado de telecomunicações de forma geral apresenta contínua inovação e aprimoramento. A área de telefonia móvel celular por exemplo, novas formas de entretenimento surgem diariamente através de aplicativos, dispositivos móveis cada vez menores e com maior poder de processamento, capacidade de memória e quantidade de recursos são sinais de que os avanços neste setor estão em plena ascendência. Neste contexto, outros segmentos que se utilizam da radiopropagação também apresentam inovações tanto nos equipamentos quanto nas técnicas empregadas. Alguns exemplos são a TV digital, novos tipos de antenas menores e com melhor desempenho, sistemas *wireless* para computadores portáteis e outros equipamentos móveis, e a recente implantação da tecnologia 4G entre outros.

Para melhor compreensão dos princípios de radiopropagação é importante o projetista ter em mente a faixa de frequência desejada, o tipo de serviço que se pretende, a topografia e a morfologia do terreno, e outras informações decorrentes destas conforme o caso tais como: taxa de transmissão de dados, taxa de erro de bit, capacidade do canal, relação sinal/ruído. Além destas características essenciais, também deve se levar em conta o modelo de propagação a ser utilizado, que pode ser empírico, teórico ou híbrido, o *software* de cobertura para realização das predições, para que ao final o resultado obtido seja de qualidade, com maior confiabilidade e precisão possíveis.

Este estudo restringe-se à radiocomunicação terrestre, não sendo considerados outros tipos de enlaces. As variações que diminuem os níveis de sinal são conhecidas

como desvanecimentos, que podem ser rápidos (pequena escala) e lentos (larga escala).

Segundo Pereira, os mecanismos de propagação determinam a atenuação de propagação e o valor médio do sinal no receptor. A compreensão dos mecanismos envolvidos é básica para o cálculo do raio máximo de uma célula. Sendo ainda necessário considerar que efeitos de propagação determinam as flutuações rápidas e lentas do sinal em torno de seu valor médio. Neste caso com relação ao efeito de propagação chamado multipercurso, o sinal recebido é a composição de inúmeras versões do sinal inicialmente transmitido, que chega ao receptor por diferentes percursos conforme as reflexões e difrações sofridas ao longo destes caminhos. Outra causa de flutuações de sinal na recepção são as obstruções presentes no terreno por variações de topografia e ou morfologia ou ainda a intervenção humana como no caso de construções, o que causa o efeito chamado de sombreamento [11]. A Tabela 1 mostra as faixas de frequência mais utilizadas em segurança pública.

**Tabela 1 – Aspectos Gerais de Rádio-Propagação – faixas VHF e UHF**

<b>Frequências</b>	<b>Mecanismo de Propagação</b>	<b>Efeitos da atmosfera e do terreno</b>	<b>Aspectos de sistema</b>	<b>Tipos de serviço</b>
VHF (30 – 300) MHZ	Propagação em visibilidade; difração; tropodifusão. (ondas espaciais)	Efeitos de refração; multipercursos difração pelo relevo; espalhamento troposférico	Antenas Yagi (dipolos múltiplos), Helicoidais) sistemas De baixa e média capacidade.	Fixo terrestre; radar móvel terrestre e por satélite; rádio-difusão, radiofarol.
UHF (300 – 3000) Hz	Propagação em visibilidade; difração; tropodifusão. (ondas espaciais)	Efeitos de refração; multipercursos e dutos (faixa alta); difração e obstrução pelo relevo.	Antenas Yagi (dipolos múltiplos), helicoidais e de abertura; sistemas de média e alta capacidade.	Fixo terrestre; radar móvel terrestre e por satélite; rádio-difusão e TV; celular e PCS (Personal Communication Systems)

Fonte: [11], p.4

Nesta tabela são apresentadas características como os mecanismos de propagação, efeitos da atmosfera e do terreno, aspectos do sistema e tipos de serviço.

## 2.2 PARÂMETROS DE UM RÁDIO ENLACE

Vários são os parâmetros que incidem sobre o projeto de concepção de um radio enlace, destacam-se entre os principais os parâmetros geométricos, parâmetros de frequência e parâmetros de potência. Dentre os parâmetros geométricos têm-se, as coordenadas geográficas dos elementos do enlace (transmissão e recepção), o azimuth destes elementos, a distância ortodrômica entre eles, a elevação, tipo de torre, altura da torre, tipo de antena, aterramento, morfologia e topografia do terreno entre as partes. Como parâmetros de frequência têm-se: a faixa de frequência desejada, o meio de propagação, as normas aplicáveis tanto da Anatel como da ITU por exemplo e tipo de modulação. Já com relação aos parâmetros de potência, tem-se o modelo de propagação, a potência de transmissão, as perdas nos cabos e nos conectores, o tipo de informação e o tempo de operação do sistema.

A distância ortodrômica entre transmissor (ponto 1) e receptor (ponto 2) é calculado conforme a Equação 2.1

$$d = 111,276 * \Delta \quad (2.1)$$

O elemento  $\Delta$  pode ser calculado a partir da Equação 2.2:

$$\Delta = a \cos[\sin(lat_1) * \sin(lat_2) + \cos(lat_1) \cos(lat_2) \cos(long_1 - long_2)] \quad (2.2)$$

O cálculo do elemento  $\Delta$  na equação 2.2 leva em consideração as coordenadas geográficas representadas das posições 1 e 2 onde:



$lat_1$  : representa a latitude da posição 1;

$lat_2$  : representa a latitude da posição 2;

$long_1$  : representa a longitude da posição 1;

$long_2$  : representa a longitude da posição 2.

O Azimute é definido por Friedmann como: “o ângulo plano horizontal formado entre a direção Norte e uma direção especificada. Este ângulo tomado no sentido horário, a partir da direção Norte” [13].

O azimute entre dois pontos sendo ponto 1 e ponto 2 é calculado conforme as Equações 2.3 e 2.4 respectivamente:

$$Az_1 = \arccos \left[ \frac{\text{sen}(lat_1) - \cos(\Delta)}{\text{sen}(\Delta) \cdot \cos(lat_1)} \right] \quad (2.3)$$

$$Az_2 = 360^\circ - \arccos \left[ \frac{\text{sen}(lat_1) - \cos(\Delta)}{\text{sen}(\Delta) \cdot \cos(lat_2)} \right] \quad (2.4)$$

As equações 2.1 a 2.4 são variações encontradas no cálculo de distância esférica entre dois pontos [43].

A relação da potência transmitida e potência recebida pode ser obtida utilizando-se a fórmula de Friis, conforme Equação 2.5 [44]:

$$\frac{PR}{PT} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \cdot GT \cdot GR \quad (2.5)$$

Onde:

$PR$  : representa o nível de sinal de potência recebida [dB];

$PT$  : representa o nível de sinal de potência transmitida [dB];

$\lambda$  : representa o comprimento de onda [m];

$GT$  : representa o ganho da antena de transmissão [dB];

$GR$  : representa o ganho da antena de recepção [dB].

A partir da relação logarítmica e dos ajustes necessários na Equação 2.5, chega-se as expressões de atenuação no espaço livre ou perda em decibéis. Para tanto têm-se as equações 2.6 e 2.7:

$$Lo(dB) = 92,44 + 20 \log(d[km]) + 20 \log(f[GHz]) \quad (2.6)$$

$$Lo(dB) = 32,44 + 20 \log(d[km]) + 20 \log(f[MHz]) \quad (2.7)$$

Onde:

$Lo$ : representa a perda [dB];

$d$  : representa distância [km];

$f$  : representa frequência [MHz], [GHz].

A Equação 2.6 [11] permite calcular a atenuação no espaço livre em dB a partir das informações de distância dada em quilômetros e frequência em GHz, já a equação 2.7 [45] possibilita o mesmo cálculo sendo que neste caso a frequência é dada em MHz.

### 2.2.1 Difração

O princípio de Huygens estabelece que em uma frente de onda cada ponto apresenta comportamento de uma nova frente de onda elementar que se propaga para além da onda original, o que causa mudanças de direção ou desvios na trajetória de algumas frentes de onda, conforme ilustrado na Figura 2.

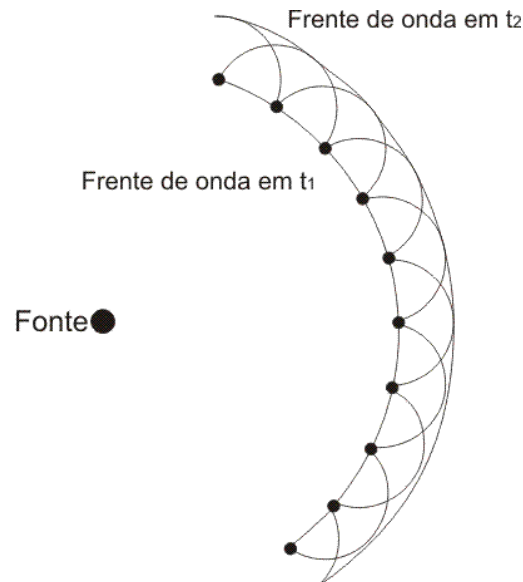


Figura 2, Princípio de Huygens  
Fonte: [20]

Da Figura 2, observa-se que uma frente de onda ao se propagar, divide-se em outras frentes com menor intensidade e direção diferente da anterior.

Diante de obstáculos, o estabelecimento da comunicação via rádio pode ser prejudicado em função da difração do sinal, este fenômeno é facilmente observado na Figura 2, como outra ilustração do princípio de Huygens.

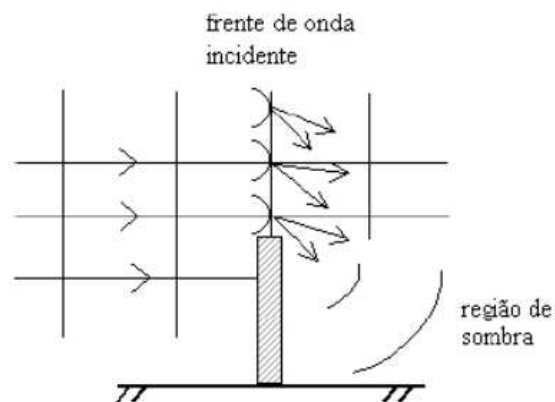


Figura 3, Difração diante de obstáculo  
Fonte: [11], p.17

Na Figura 3, depreende-se que ao passar por um obstáculo uma frente de onda obedecendo ao princípio de Huygens apresenta mudança de direção, esta propriedade indica uma capacidade de contornar o obstáculo, entretanto quando isso ocorre o alcance final desta frente de onda é reduzido.

### 2.2.2 Zona de Fresnel

O conceito de zona de Fresnel em homenagem ao físico Augustin Jean Fresnel, é útil para análise de rádioenlaces, pois permite estudar o comportamento das ondas diante de obstáculos. Um sinal radioelétrico emitido por uma fonte em direção a um receptor sofre variações nas frentes de onda, e conseqüente defasamento destas ondas entre dois percursos é definido pela Equação 2.8.

$$D_F = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \ell \quad (2.8)$$

Onde  $\Delta \ell$  representa a diferença de comprimento entre percursos considerados, e  $\lambda$  representa o comprimento de onda. O número de Fresnel é adimensional e caso seja menor que 1, deverá ser definido como difração de Fraunhofer. Se o número for igual ou maior do que 1, definir-se-a como difração de Fresnel. O número de Fresnel pode ser obtido pela Equação 2.9.

$$N_F = \frac{\sigma^2}{\lambda L} \quad (2.9)$$

Onde  $N_F$  representa o número de Fresnel,  $\lambda$  representa o comprimento de onda e  $\sigma$  representa o raio de uma abertura circular e  $L$  a distância entre a abertura e o ponto de observação. A elipsóide de Fresnel é considerada uma das  $n$  elipsóides possíveis entre o transmissor e o receptor. Neste caso  $r$  é o raio da primeira zona de Fresnel ( $n=1$ ), como pode ser observado na Figura 4.

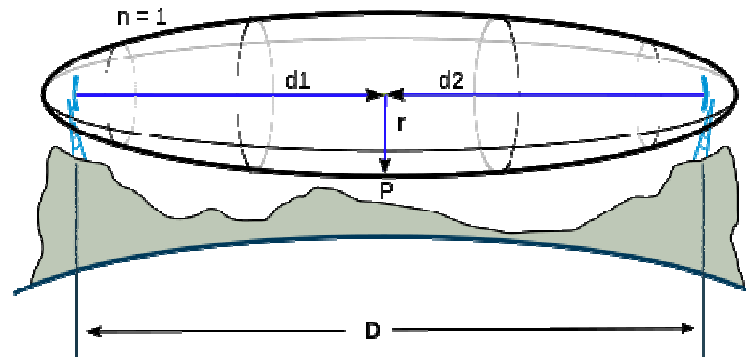


Figura 4, Zona de Fresnel  
Fonte: [12]

Desprende-se da Figura 4, a visualização do enlace, onde têm-se os pontos de transmissão e recepção, um ponto P que representa a posição de estudo de obstrução, a partir do qual apresenta-se a distância  $d_1$  até o transmissor e  $d_2$  entre o ponto P e o receptor.

O cálculo do raio da zona de Fresnel pode ser verificado a partir da equação 2.10

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{D}} \quad (2.10)$$

Onde:

$r_n$  : representa o raio da zona de Fresnel [m];

$n$  : representa o número da zona de Fresnel;

$\lambda$  : representa o comprimento de onda [m];

$d_1$  : representa a distância entre o transmissor e o obstáculo [m];

$d_2$  : representa a distância entre o receptor e o obstáculo [m];

$D$  : representa a distância entre o transmissor e o receptor [m].

Supondo-se que um plano perpendicular atravessasse a elipsóide de Fresnel, entre o transmissor e o receptor, aqui chamado de observador, num ponto A, ilustrado na Figura 5.

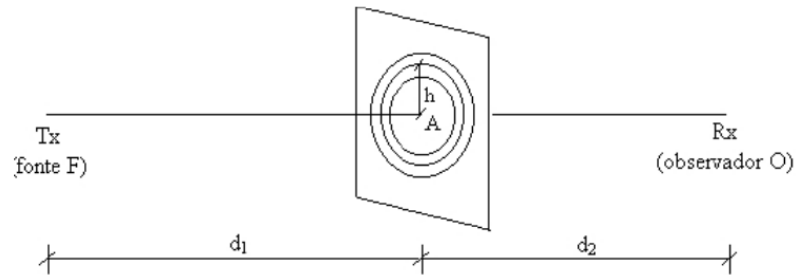


Figura 5, Corte na elipsóide de Fresnel  
Fonte: [11], p. 19

A Figura 5 mostra que o raio da circunferência inscrita neste plano é identificado pela letra  $h$ , a diferença de percurso entre a linha de visada passando pelo ponto A e qualquer ponto da circunferência de raio  $h$  pode ser expressa pela Equação 2.11

$$\delta \cong \frac{h^2}{2} \frac{d1 + d2}{d1 \cdot d2} \quad (2.11)$$

Onde:

$h$  : representa o raio de circunferência inscrita no plano [m];

$d1$ : representa a diferença de percurso entre o caminho que passa por A e qualquer outro caminho inscrito na circunferência de raio  $h$ , [m];

$d2$ : representa a diferença de percurso entre o caminho que passa por A e qualquer outro caminho inscrito na circunferência de raio  $h$ , [m];

Neste caso tem-se que o raio  $h$  é muito menor que as distâncias  $d_1$  e  $d_2$ . A diferença de fase entre os percursos é dada pela Equação 2.12.

$$\delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta \quad \text{ou} \quad \delta\phi = \frac{\pi}{\lambda} \cdot h^2 \frac{(d1 + d2)}{d1 \cdot d2} \quad (2.12)$$

A partir desta expressão chega-se a:

$$v = h \sqrt{\frac{2(d1 + d2)}{d1 \cdot d2}} \quad (2.13)$$

Onde  $v$  representa o parâmetro de difração de Fresnel-Kirchhoff, logo:

$$\delta\phi = \frac{\pi}{2} v^2 \quad (2.14)$$

As equações 2.8 a 2.14 são oriundas de estudos de ótica [46].

### 2.2.3 Difração por gume de faca

Quando uma obstrução ou sombreamento é causada por apenas um objeto, segundo Cavalcanti tem-se o fenômeno da difração por gume de faca, onde a intensidade de campo no receptor é determinada pela soma de todas as fontes secundárias de Huygens acima do gume de faca, como ilustrado na Figura 6 [14].

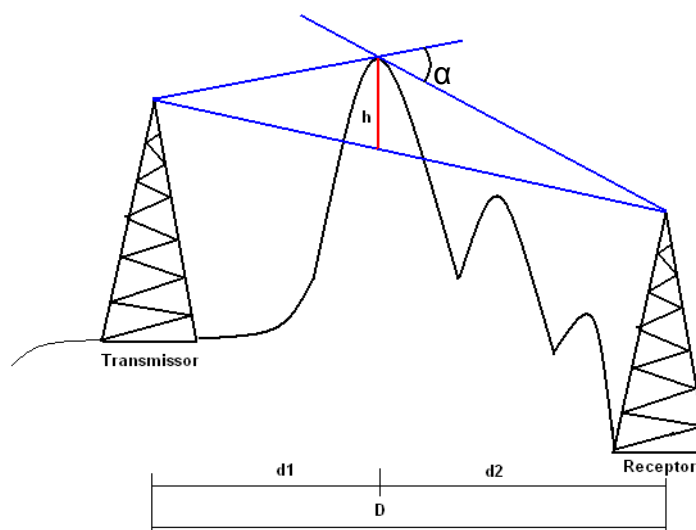


Figura 6, Difração por gume de faca  
Fonte: O autor

Depreende-se da Figura 6, que  $h$  é a altura de obstrução causada pelo obstáculo acima da linha de visada entre o transmissor e o receptor.

A expressão da intensidade de campo no receptor é dada pela Equação 2.15 que também é conhecida como integral de difração de Fresnel-Kirchhoff [47].

$$\frac{E_d}{E_o} = F(v) = \frac{(1+j)}{2} \int_v^{\infty} \exp\left(\frac{-j\pi t^2}{2}\right) dt \quad (2.15)$$

Onde:

$E_o$  : representa a intensidade do campo elétrico no espaço livre [V/m];

$E_d$  : representa a intensidade de campo elétrico difratado [V/m];

$F(v)$ : representa a integral complexa de Fresnel.

A função do parâmetro de difração de Fresnel-Kirchhoff( $v$ ), é definida pela Equação 2.16

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{d_1 \cdot d_2}} = \alpha \sqrt{\frac{2d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.16)$$

Se  $\alpha < 0,2$  radianos. O ganho da difração por gume de faca é dado por:

$$Gd[dB] = 20 \log |F(v)| \quad (2.17)$$

Onde o ganho em dB é função logarítmica da integral de difração de Fresnel-Kirchhoff. As equações 2.16 e 2.17 são relações do parâmetro ( $v$ ) [14].

### 2.3 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Afim de realizar previsões de cobertura com nível de aproximação ou exatidão em relação à realidade utilizam-se diversos modelos de propagação. Dependendo do tipo de serviço, da informação a ser transportada, da largura de banda, das taxas de



dados, ambiente interno ou externo, vegetação, áreas urbanas ou rurais entre outros requisitos que podem ser requeridos pelo sistema na fase de projeto. Para tanto, pode-se aplicar múltiplos modelos, por outro lado, conforme o caso o problema pode ser solucionado aplicando-se um único modelo.

Segundo Pereira, os modelos podem ser empregados para prever o comportamento dos sinais de RF no ambiente a partir de ferramentas computacionais muito úteis porque podem ajudar na localização de pontos de acesso e reduzir efeitos de atenuação causados por multipercursos. Os modelos dividem-se ainda em duas grandes categorias, sendo uma de modelos empíricos e a outra de modelos teóricos [11].

Os modelos empíricos baseados em medidas resultam em relações entre atenuação e distâncias. Levam a resultados ajustados aos fatores medidos, necessitam de validação conforme o local, frequência e condições do ambiente. Os modelos teóricos requerem bases de dados e utilização de métodos complexos para obtenção dos resultados. Neste caso têm-se a desvantagem das considerações do ambiente, por outro lado, a facilidade de permitir alterações de parâmetros de cálculo e bases de dados.

Há outras maneiras de simular o comportamento de ondas radioelétricas em diversos meios tais como as simulações por diferenças finitas e o método dos elementos finitos ambos no domínio do tempo, porém a aplicação destas metodologias implicaria em considerável demanda de recursos computacionais, associada a área envolvida e demais variáveis já mencionadas. O resultado seria alcançado com um significativo tempo de processamento. Desta forma segundo Patriota, os modelos de propagação consistem numa maneira viável de simulação de projetos de RF [15].

### 2.3.1 Modelo de Okumura

O modelo de Okumura foi desenvolvido a partir de testes em cidades japonesas e foi publicado em 1968. É válido para faixa de frequências entre 150 MHz e 1920 MHz, distâncias de 30 km a 100 km e altura de antenas variando de 30 m a 1000 m. Neste

caso são consideradas características do terreno como ondulações, inclinações, áreas montanhosas e presença de água. Em relação ao adensamento populacional, divide-se em área rural, área sub-urbana e área urbana. Okumura montou um conjunto de curvas para indicar a atenuação média em relação ao espaço livre ( $A_{mu}$ ). A altura da estação base é 200m e da estação móvel é 3 m. Em situações com alturas diferentes desta referência, cabe o cálculo através da Equação 2.18.

$$L_{oku} = L_o + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G(area) \quad (2.18)$$

Onde:

$L_{oku}$ : representa o valor médio das perdas por propagação [dB];

$L_o$  : representa a perda por propagação no espaço livre [dB];

$A_{mu}$ : representa a atenuação média no espaço livre encontrada nas curvas de Okumura, em função da frequência e da distância do transmissor e do receptor [dB];

$G(h_{te})$  : representa o fator de ganho da estação transmissora [dB];

$G(h_{re})$  : representa o fator de ganho da estação receptora [dB];

$G(area)$  : representa o ganho em função do tipo de ambiente, retirado das curvas empíricas [dB].

A Figura 7 apresenta a curva de atenuação média em função da frequência e da distância.

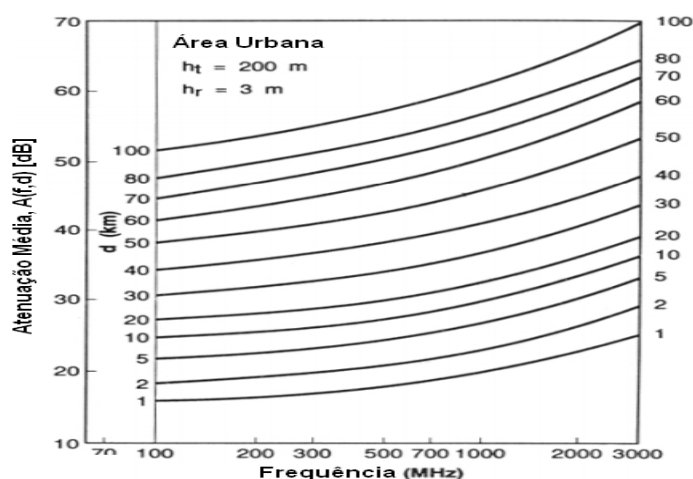


Figura 7, Curva de atenuação média  $A(f,d)$

Fonte: [17], p.34

Depreende-se da Figura 7, uma atenuação superior a 50 dB, numa frequência de 500 MHz, em uma distância de 40 km.

A Figura 8 mostra o fator de correção conforme o tipo de ambiente. Neste último a relação  $G(\text{área})$  é definida como um ganho em [dB] que varia em função da frequência e do ambiente. As opções de ambiente são: área aberta, área semi-aberta e área suburbana.

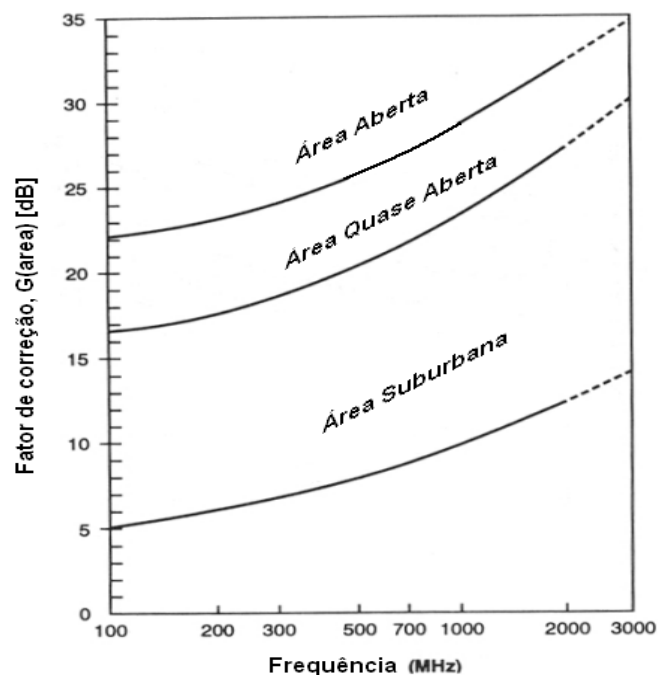


Figura 8, Fator de correção por tipo de ambiente  
Fonte: adaptado de [17], p.35

Observa-se na Figura 8 que o fator de correção  $G(\text{área})$  é 22 numa frequência de 100 MHz em uma área aberta.

Segundo Castilho, este modelo é baseado na perda de potência no espaço livre entre os pontos de interesse. A esta perda adicionam-se os parâmetros atenuação média no espaço livre ( $A_{mu}$ ), e os ganhos das estações transmissora ( $G_{Hte}$ ) e receptora ( $G_{Hre}$ ) [16].

### 2.3.2 Modelo de Hata

O modelo Hata apresentado em 1980 altera algumas relações do modelo Okumura, de forma a tornar mais acessível a simulação computacional a partir de expressões empíricas. Este modelo aplica-se para faixa de frequência entre 150 MHz e 1500 MHz, distâncias entre 1 e 100 km e altura efetiva das antenas entre 30 m e 200 m.

Segundo Silva, este modelo é perfeitamente apropriado para áreas urbanas e suburbanas, apesar de seus valores de predição de perda de percurso desviarem entre 10 e 14 dB em relação às medidas na prática e sua maior desvantagem é a resposta lenta para grandes variações do terreno [17].

Este modelo não é recomendado para células com raio inferior a 1 km. A expressão deste modelo é dada por:

$$L_H = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{te})] \cdot \log(D) \quad (2.19)$$

Onde:

$L_H$  : representa o valor médio de perdas devido ao caminho de propagação em área urbana [dB];

$f$  : representa a frequência [MHz];

$h_{te}$  : representa a altura efetiva da estação transmissora [m];

$h_{re}$  : representa a altura efetiva da estação receptora [m];

$D$  : representa a distância entre o transmissor e o receptor [km];

$a(h_{re})$  : representa o fator de correção da antena do receptor móvel.

O fator  $a(h_{re})$  pode ser calculado para áreas urbanas:

$$a(h_{re}) = [1,11 \log(f) - 0,7] h_{re} - (1,56 \log(f) - 0,8) \quad (2.20)$$

Em áreas urbanas densas tem-se:

$$a(h_{re}) = 8,29 [\log(1,54 h_{re})]^2 - 1,1 \quad f \leq 300 \text{ MHz} \quad (2.21)$$

$$a(hre) = 3,2[\log(11,75 hre)]^2 - 4,97 \quad f \geq 300 \text{ MHz} \quad (2.22)$$

O valor médio de perdas devido ao caminho de propagação nas áreas suburbanas e rurais é expresso pelas Equações 2.23 e 2.24:

$$L = L_H - 2[\log(\frac{f}{28})]^2 - 5,4 \quad \text{áreas suburbanas} \quad (2.23)$$

$$L = L_H - 4,78[\log(f)]^2 - 18,33 \log(f) - 40,98 \quad \text{áreas rurais} \quad (2.24)$$

Este modelo também é conhecido como Okumura-Hata, e as curvas de perdas em função da distância para uma frequência de 470 MHz podem ser visualizada na Figura 9.

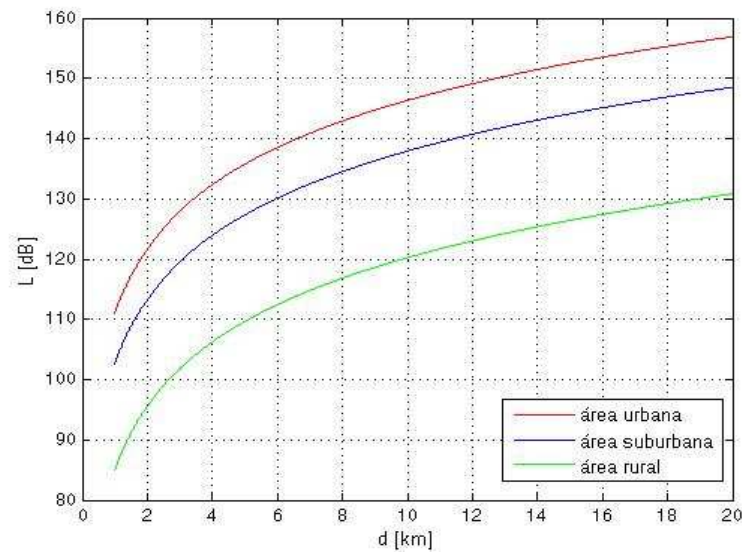


Figura 9, Perdas no modelo Okumura-Hata  
Fonte: O autor

Da Figura 9 desprende-se que em áreas urbanas as perdas são maiores que em áreas suburbanas ou áreas rurais.

Segundo Silva, o modelo Okumura-Hata-Cost-231, é um dos métodos mais empregados para cálculo da perda média de propagação em áreas urbanas. Sendo o modelo COST-231 uma extensão do modelo de Hata para frequências até 2 GHz, válido

para os mesmos intervalos de distâncias e alturas efetivas de antenas, porém acima de 1500 MHz ocorre alteração no cálculo da perda de percurso em áreas urbanas [17].

### 2.3.3 Modelo de Lee

Este modelo foi proposto em 1985 por W.C.Y.Lee resultante de dados experimentais onde verificou-se a taxa de atenuação do nível do sinal em função da distância, conforme as variações da topografia e da morfologia do terreno. É um modelo bastante utilizado em projetos de RF até as faixas de frequência de 950 MHz nos serviços de telefonia móvel. Este modelo introduz ainda alguns parâmetros tais como a taxa de atenuação em [dB/dec], e a potência em [dBm] no ponto de referência ou de intersecção a distância de 1,6 km (1 milha terrestre) da ERB. Outros aspectos são importantes como a altura das antenas das estações de transmissão e de recepção, a potência da estação na transmissão. A partir dos resultados nas condições padronizadas no ponto de referência é possível conhecer o comportamento dos sinais de RF em outros pontos de interesse.

A potência recebida é expressa pela Equação 2.25

$$Pr = Po - \gamma \log\left(\frac{r}{ro}\right) + Af + Geffh(he, hl) + L(v) + \alpha \quad (2.25)$$

Onde:

***Pr*** : representa a potência recebida [dBm];

***Po*** : representa a potência recebida no ponto de referência [dBm];

***γ*** : representa o decaimento da atenuação da propagação ou fator de rugosidade do terreno [dB/década];

***r*** : representa a distância entre estação base e móvel [km];

***ro*** : representa a distância entre estação base e ponto de referência [km];

***Af*** : representa o fator de ajuste da frequência [dB];

$G_{effh}$  : representa o ganho em função da altura efetiva da antena ( $h_e$ ) [m] e da altura real desta ( $h_l$ ) [m];

$L(v)$  : representa as perdas por difração no terreno [dB];

$\alpha$  : representa o fator de ajuste do sinal.

Para aplicação deste modelo se faz necessária a observação da linha de visada entre o transmissor e o receptor e a existência de água. A frequência de referência do modelo é 850 MHz, sendo válido para portadoras entre 150 MHz e 2.4 GHz é dividido em 3 faixas, 150-450MHz, 450-850MHz e 850-2400MHz. O decaimento em [dBm] e [dB $\mu$ V/m] em função da distância e do tipo de ambiente é mostrado na Figura 10.

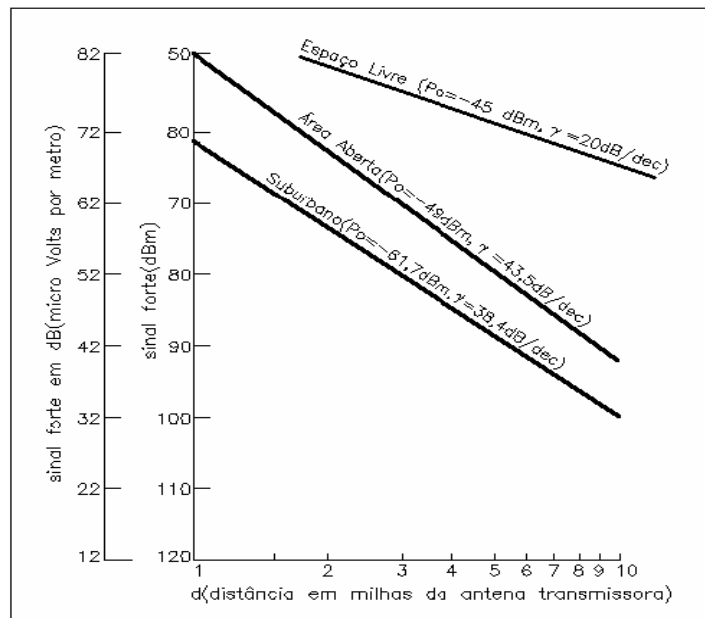


Figura 10, Decaimento e ponto de intersecção derivados de medidas reais  
Fonte: [15], p.40

Observa-se na Figura 10 que o decaimento é mais suave ou mais lento no espaço livre.

O valor do fator de ajuste de frequência  $A_f$  é válido para as três faixas e os dois ambientes conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Fator de ajuste de frequência – Modelo Lee

Banda	Urbano	Restantes
[150;450] MHz	$A_f = -30 \log\left(\frac{450}{850}\right) - 20 \log\left(\frac{f}{850}\right)$	$A_f = -20 \log\left(\frac{f}{850}\right)$
[450;850] MHz	$A_f = -30 \log\left(\frac{f}{850}\right)$	$A_f = -20 \log\left(\frac{f}{850}\right)$
[850;2400] MHz	$A_f = -30 \log\left(\frac{f}{850}\right)$	$A_f = -30 \log\left(\frac{f}{850}\right)$

Fonte: O autor

O ganho em função da altura efetiva é expresso por:

$$G_{effh} = 20 \log\left(\frac{he}{hl}\right) \quad (2.26)$$

Onde:

**he** : representa a altura efetiva da antena [m];

**hl** : representa a altura real da antena [m].

Para melhor entendimento das alturas efetiva e real, a determinação do ponto especular é apresentada na Figura 11.



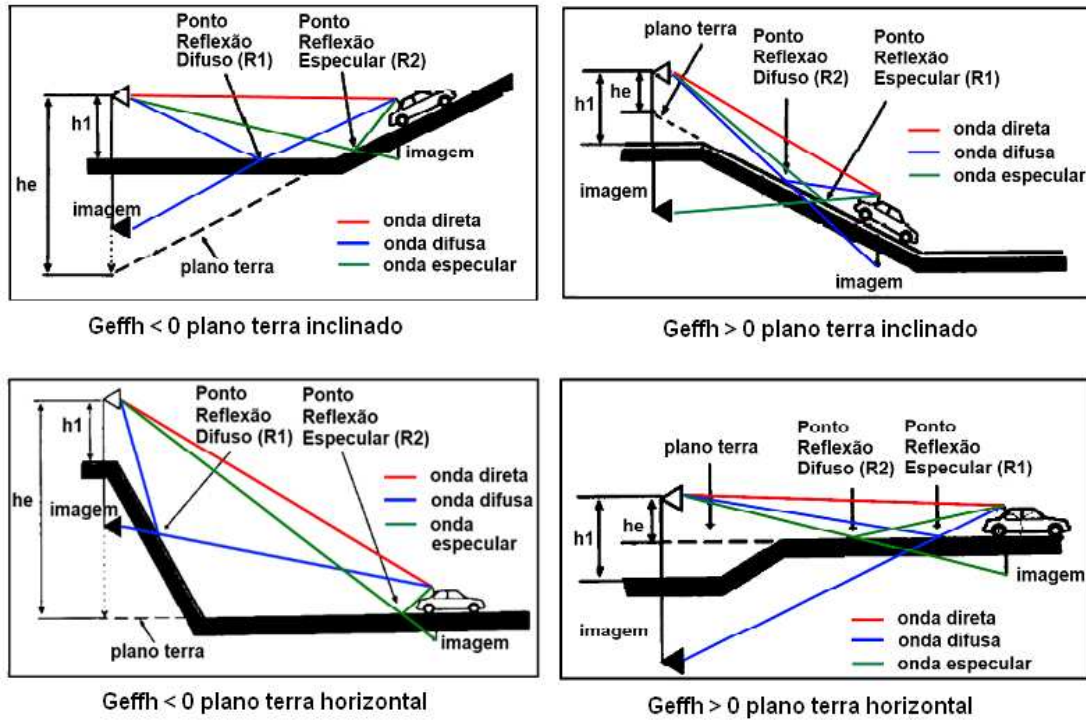


Figura 11, Determinação do ponto especular e altura efetiva  $G_{effh}$ .

Fonte : adaptado de [11]

O fator de ajuste  $\alpha$  é utilizado envolvendo parâmetros das estações base e móvel. É efetuado com relação à potência de transmissão, altura e ganho das antenas e é expresso pela Equação 2.27:

$$\alpha = 10 \log \left( \frac{P_t}{P_{tp}} \right) + 20 \log \left( \frac{H_1}{H_{1p}} \right) = 10 \log \left( \frac{H_2}{H_{2p}} \right) + (Gr - Grp) + (Gm - Gmp) \quad (2.27)$$

Onde:

$P_t$  : representa a potência de emissão da estação base [w];

$P_{tp}$  : representa a potência de emissão padrão da estação base [w];

$H_1$  : representa a altura da antena da estação base [m];

$H_{1p}$  : representa a altura padrão da antena da estação base [m];

$H_2$  : representa a altura da antena da estação móvel [m];

$H_{2p}$  : representa a altura da antena da estação móvel [m];

$Gr$  : representa o ganho da antena da estação base [dBd];

$Grp$  : representa o ganho padrão da antena da estação base [dBd];

$Gm$  : representa o ganho da antena da estação móvel [dBd];

$Gmp$  : representa o ganho padrão da antena da estação móvel [dBd].

Os valores padronizados no modelo Lee são:

$Ptp = 10 \text{ W}$ ;

$H1p = 30 \text{ m}$ ;

$H2p = 3 \text{ m}$ ;

$Grp = 6 \text{ dBd}$ ;

$Gmp = 0 \text{ dBd}$ .

As perdas por sombreamento  $L(v)$  levam em conta a difração por gume de faca, conforme a Equação 2.16, podem ser calculadas pelas integrais de Fresnel com argumento ( $v$ ) ou aproximadas pelas relações:

$$L(v) = \begin{cases} 0 & \forall \quad 1 < v \\ -20 \log(0,5 + 0,62v) & \forall \quad 0 < v < 1 \\ -20 \log(0,5e^{0,92v}) & \forall \quad -1 < v < 0 \\ -20 \log\left(0,4 - \sqrt{0,1184 - (0,1v + 0,38)^2}\right) & \forall \quad -2,4 < v < -1 \\ -20 \log\left(\frac{-0,2255}{v}\right) & \forall \quad v < -2,4 \end{cases}$$

Fonte: [15].

#### 2.3.4 Modelo de Longley-Rice

Em 1963 Barsis & Rice apresentaram um modelo para cálculo de cobertura de sinais radioelétricos para vários tipos de terreno. Os dados do modelo foram baseados na topografia dos estados norte-americanos do Colorado e Ohio, devido a grande variação entre planícies e planaltos. Com o avanço, definiu-se um  $\Delta h$  como parâmetro

de rugosidade do terreno. Este parâmetro foi aprimorado por Longley, onde foram considerados 36 modelos de perfil em 6 direções, totalizando 216 modelos de terreno, para distâncias de até 60 km [18].

Através deste modelo, verificou-se que dependendo das condições faz-se necessária uma grande variedade de tipos de terreno, ou do parâmetro  $\Delta h$ . O modelo apresenta resposta para frequências entre 20 MHz e 20 GHz. Este modelo propõe que o sinal recebido por uma estação móvel é o sinal transmitido, subtraída a atenuação no espaço livre, e um somatório de atenuações formado por variáveis aleatórias que são apresentadas como uma atenuação de referência [19].

O modelo completo possui um grande número de variáveis entre as quais: parâmetros do ambiente como irregularidade do terreno, permissividade e condutividade do solo, refratividade da superfície e clima [18].

$$W_{ref} = W_o + y_s(s) + \lambda_L \cdot s * y_L(L) + \delta_t(s) * y_t(t) \quad (2.28)$$

As variáveis  $y_s$ ,  $y_L$  e  $y_t$  são variáveis aleatórias denominadas desvios. Estes desvios são medidos em decibéis, com valor médio em 0dB. Os multiplicadores são adimensionais, sempre positivos com valor médio unitário [18].

Onde:

$W_{ref}$ : representa o somatório das atenuações

$W_o$ : representa o sinal transmitido atenuado no espaço livre

$y_s$ : representa o desvio na situação

$\delta_L$ : representa o multiplicador da localização

$y_L$ : representa o desvio na localização

$\delta_t$ : representa o multiplicador do tempo

$y_t$ : representa o desvio no tempo

O sinal transmitido atenuado no espaço livre, pode ser calculado pela Equação 2.28:

$$W_o = 20 \log \left( \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d} \right) \quad (2.29)$$

Onde:

$W_o$ : representa a perda [dB];

$d$  : representa distância [km].

No modelo Longley-Rice, são levados em conta fatores como: linha de visada, difração, dispersão ou espalhamento, distância entre estações, ângulos de elevação, horizontes de rádio das antenas, cruzamento entre os horizontes de rádio das antenas transmissora e receptora [19].

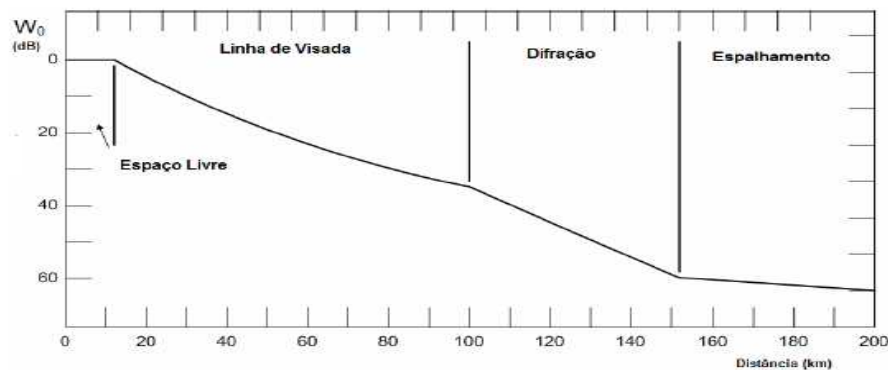


Figura 12, Atenuação de referência ( $W_o$ ) em função da distância.  
Fonte: [19].

A Figura 12 sumariza alguns dos fatores considerados no modelo Longley-Rice.

Tabela 3 – Modelos de Propagação

MODELO	Fx. Frequência.	Distância	Altura Antenas
Okumura	150 - 1920 MHz	1 - 100 km	20 - 1000 m
Okumura-Hata	150 - 1500 MHz	1 - 20 km	30 - 200 m
Lee	150 - 2400 MHz	1 - 100 km	30 - 100 m
Longley-Rice	20 - 20000 MHz	1 - 2000 km	0,5 - 3000 m

Fonte: O autor

Da Tabela 3, verifica-se que os modelos Okumura, Okumura-Hata e Lee apresentam resposta para faixas de frequência e distâncias mais específicas e menores do que o modelo Longley-Rice. Desta forma fica evidenciada a diferença de abrangência entre os modelos, o que pode ser decisivo na escolha de modelos para projetos de RF.

## **CONCLUSÃO**

A escolha de um modelo de propagação deve levar em consideração a faixa de frequência, o tipo de serviço, o ambiente, e os parâmetros essenciais como geometria do enlace, frequência e potência. De posse destas informações é que se determina o modelo mais adequado para a concepção do enlace ou estudo de radiopropagação.

Os modelos aqui mencionados: Okumura, Okumura-Hata, Lee e Longley-Rice apresentam resultados mais adequados e próximos da realidade do que apenas o cálculo da atenuação no espaço livre. Os modelos Okumura-Hata e Lee foram estudados e utilizados neste trabalho levando em consideração a aproximação de terra plana e troposfera homogênea. Assim espera-se que para as faixas de frequência de uso em segurança pública (148 a 392 MHz) os modelos Okumura-Hata e Modelo de Lee atendam aos objetivos propostos num algoritmo de predição de cobertura. Por outro lado o Modelo Longley-Rice apresenta-se como um modelo mais complexo e com maior número de variáveis, o que torna mais rigorosa sua implementação. Para verificação de resultados com este modelo pretende-se utilizar o programa Rádio Móvel que será apresentado no capítulo seguinte.

## REFERÊNCIAS

- [11] PEREIRA, M. A. B. **Análise de Modelos de Propagação na Área Urbana da Região de Curitiba - PR na Faixa de Frequência de 1800 MHz**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Agosto 2007.
- [12] VIEIRA, Pedro. **Propagação II – Elipsóides de Fresnel**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia de Eletrónica, e Telecomunicações e de Computadores, Seção de Telecomunicações, Disponível em:<<http://www.deetc.isel.ipl.pt/sistematele/Pr2/arquivo/folhas%20de%20apoio/elips%C3%B3ides%20de%20Fresnel.pdf>>. Acesso em fevereiro de 2013.
- [13] FRIEDMAN, Raul M. P - **Fundamentos de Orientação, Cartografia e Navegação Terrestre** – Editora UTFPR – 3ª Edição – Revista e Atualizada – Curitiba-PR, 2009.
- [14] CAVALCANTE, Gustavo Araújo. **Otimização de Modelos de Predição da Perda de Propagação aplicáveis em 3,5GHz utilizando algoritmos genéticos**. 73 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- [15] PATRIOTA, Guilherme Ditzel. **Modelo de Propagação Outdoor para região urbana densa na Cidade de Curitiba**. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Agosto 2011.
- [16] CASTILHO, Sérgio Duque. **Ferramenta de Simulação Computacional de Canal de Propagação em Ambientes Celulares baseado em modelos geométricos estatísticos**. 121 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- [17] SILVA, Guilherme de Magalhães Ottoni da. **Desenvolvimento de Algoritmo para Predição de Cobertura de Bloqueio de Radio-Frequencia em HF/VHF/UHF/** 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2009.

[18] A.G.HUFFORD ***A Guide to the use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode.*** Washington, NTIA, 1982. Disponível em:<<http://www.its.blrdoc.gov/publications/2091.aspx>>. Acesso em julho de 2013.

[19] TORRES do Amaral, Cristiano. **Uma Análise do Modelo de Propagação Longley-Rice sob a perspectiva de Ambientes Urbanos Localizados em Área de Clima Tropical**, 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dezembro 2012.

[20] Frente de onda - **Princípio de Huygens**. Disponível em:<<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/principiodehuygens.php>>. Acesso em agosto de 2013.

## CAPÍTULO 3 SOFTWARES DE ANÁLISE DE COBERTURA

*Neste capítulo são discutidas algumas características requeridas em softwares para projetos de RF e apresentados alguns programas de predição e análise de cobertura.*

### 3.1 INTRODUÇÃO

Em projetos de RF a visualização gráfica antecipada da cobertura consiste numa vantagem bastante relevante para o planejamento da rede ou sistema. Desta forma a necessidade de ferramentas computacionais pode revelar problemas que só seriam percebidos no momento da instalação de equipamentos.

Por outro lado um *software* de predição de cobertura pode ser um recurso útil para ensino e pesquisa no ambiente acadêmico, em disciplinas que abordem o estudo de radiopropagação, eletromagnetismo aplicado e trabalhos de pesquisa afins.

Um bom programa de predição e análise de cobertura deve possuir uma interface amigável, e características suficientes para auxiliar o trabalho do projetista na concepção do sistema. Dentre as características desejáveis têm-se as bases de dados de GIS (*Geographical Information System*), bases de dados de altimetria, morfologia, topografia da área de interesse. As informações específicas de concepção do projeto como: frequência, serviço, BER (*Bit Error Rate*), SNR (*Signal to Noise Ratio*), parâmetros de potência são requeridas conforme o tipo de enlace a ser concebido.

Outro aspecto relevante refere-se aos impactos causados pela instalação de ERB's. Segundo [30] a cerca das questões ambientais existem quatro impactos negativos: emissão de radiação eletromagnética, emissão de ruído, poluição visual e segurança das construções. Desta forma, mesmo de posse de um software sofisticado, o projetista não pode negligenciar estas características ambientais, afim de obter o melhor resultado possível.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DE UM SOFTWARE DE COBERTURA

Existe uma grande variedade de *softwares* de predição e análise de cobertura para projetos de RF. Cada programa possui metodologias próprias, entretanto algumas



características são gerais para que sejam obtidos os resultados esperados. Informações como: raio da célula, grau de urbanização do terreno, ganhos e perdas conforme as atenuações do espaço livre e altura das antenas, parâmetros de frequência, potência e geometria do enlace são fundamentais nos cálculos, processamento e apresentação da cobertura. A Figura 13 apresenta uma metodologia para concepção de projetos que foi seguida neste trabalho.

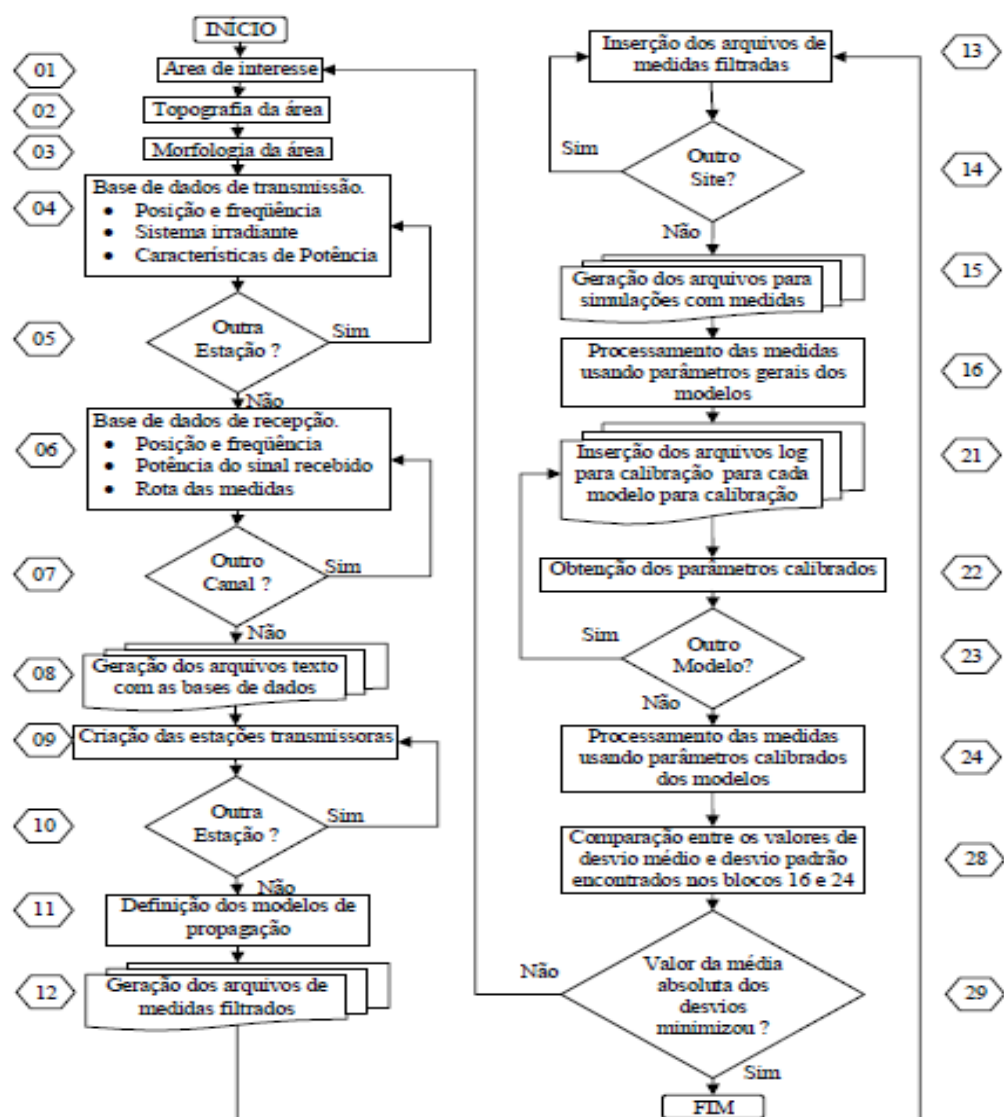


Figura 13, Fluxograma de metodologia para concepção de projetos de RF  
Fonte [11]

Da Figura 13, denota-se que além das bases de dados já mencionadas, pode se obter outras como dados da transmissão, da recepção, ocupação e largura de canais, histórico e posicionamento de estações, arquivos de medidas e de calibração, arquivos de modelos entre outros.

### 3.2.1 Bases de Dados

Inicialmente percebeu-se que para o desenvolvimento do algoritmo, era necessário o uso de um sistema de coordenadas geográficas adequado ao trabalho proposto. Para Friedman, o uso de um sistema de coordenadas permite vincular, de forma inequívoca, um ponto no terreno a sua representação no mapa ou carta topográfica. Permite ainda definir o ponto sem qualquer mapa, uma vez que este determinado ponto da superfície existe independente de sua representação em algum mapa [21].

Segundo Silva, o desenvolvimento de soluções numéricas de apoio à análise de cobertura depende da identificação e solução para integração dos modelos de propagação e da base de dados. Para a concepção adequada do projeto, bases de altimetria e morfologia podem ser fundamentais. Para tanto é preciso conhecê-las e verificar as necessidades de integração. As bases podem ser vetoriais ou rasterizadas. As vetoriais possuem conjuntos de informações em linhas ou vetores e as rasterizadas são apresentadas na forma de *pixels* [22].

Uma característica importante com relação às bases de altimetria é a resolução horizontal e vertical. Um valor de resolução horizontal considerado típico é 3" (aproximadamente 90 metros), utilizado em *softwares* associados a métodos semi-empíricos. Outras ferramentas utilizam o método de traçado de raios com maiores detalhes para apresentação dos contornos das edificações. Silva comenta em seu trabalho que a precisão vertical típica pode variar de 1 a 15 metros [22].

As bases de dados de morfologia apresentam informações de ocupação do terreno, como áreas urbanas, suburbanas e rurais, ou ainda a presença de vegetação, o tipo de vegetação, a presença de água, tipo do solo, entre outros.

Outras informações podem estar associadas às bases de dados como arruamento, limites entre municípios, divisão de bairros, que auxiliam no desenvolvimento e na apresentação dos resultados de predição de cobertura.

### 3.2.2 Mapas de cobertura

O mapa de cobertura é a visualização gráfica resultante da predição, ou seja o produto que se espera do *software*. Alguns programas utilizam arquivos próprios para apresentação dos mapas de cobertura, outros permitem a interface com aplicativos disponíveis na internet como *Google maps* e *Google Earth* [28].

De acordo com Ramalho, alguns *softwares* de predição de cobertura utilizados no Brasil são: o ODISSEY utilizado pela operadora TNL PCS – MG. A CTBC utiliza *Cellplanner* em suas redes GSM. A operadora VIVO no Estado de São Paulo usa o *software* PLANET. A operadora TIM utiliza o *software* GUITAR, desenvolvido pela empresa TILAB, integrante do Grupo *Telecom* Itália. A Claro com outras associadas como a BCP utilizam o *software* ASSET. A *Lucent* usa o *software* Airpro. A Ericsson faz uso do programa TCP, conhecido como TEMS. A Alcatel usa o *software* A1955 [23].

Em Curitiba, a operadora OI utiliza o *Cellplanner* para controle de seus projetos GSM e comparação com *drive-tests* de rotina.

A operadora Claro possui uma plataforma [24] que permite a visualização de sua planta de cobertura nos sistemas GSM, 3G e 4G, pela internet, através de uma associação entre os recursos do *Google Maps*, o sistema *Maplink* e seu *software* de cobertura. Desta forma são apresentadas nas Figuras 14, 15 e 16 as coberturas dos serviços mencionados desta empresa de telefonia móvel celular, na cidade de Curitiba, localidades da região metropolitana e do litoral do Paraná.

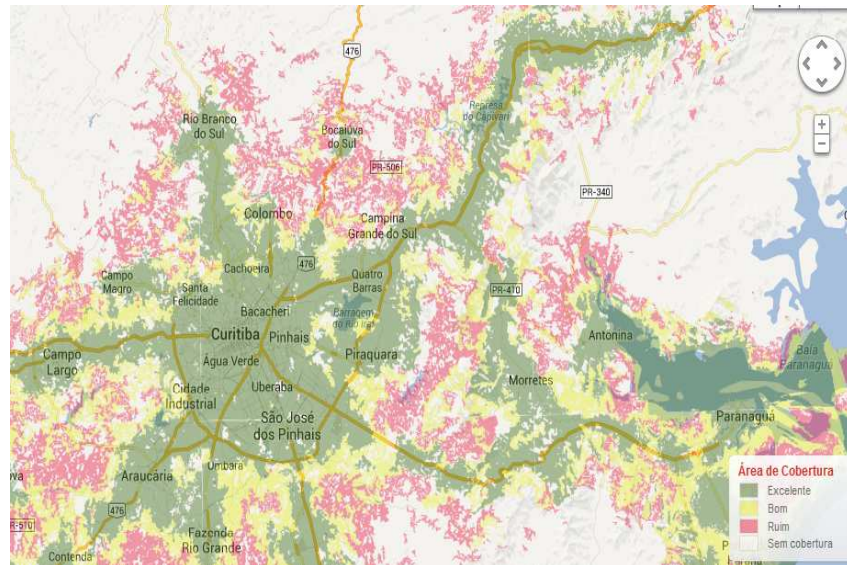


Figura 14, Mapa de cobertura GSM de Curitiba e Litoral  
Fonte: [24]

Da Figura 14, destaca-se que a cobertura GSM apresentada atende com nível excelente a Cidade de Curitiba, municípios da região metropolitana e segue pela rodovia BR-277 até o litoral do Paraná.

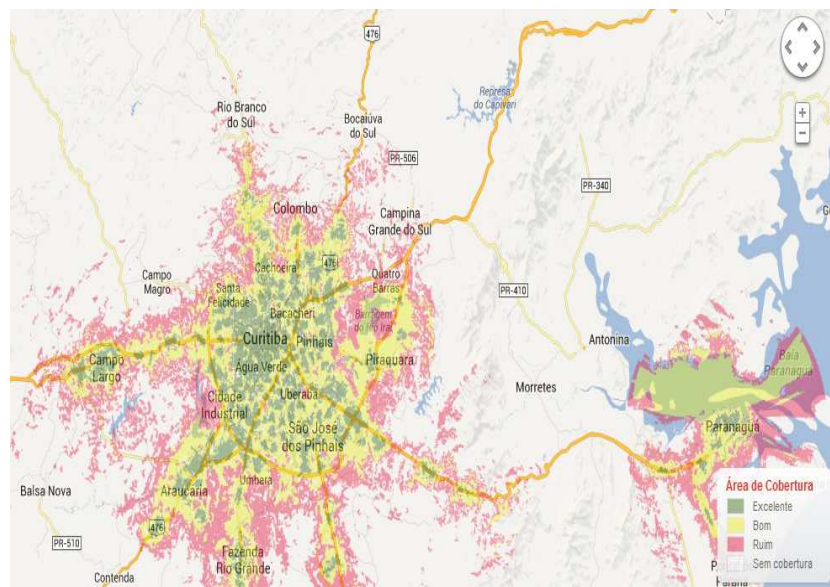


Figura 15, Mapa de cobertura 3G  
Fonte: [24]

Da Figura 15, destaca-se a cobertura da tecnologia 3G atendendo a Cidade de Curitiba, algumas partes da região metropolitana e algumas partes do litoral com cobertura menor que a cobertura do serviço GSM.



Figura 16, Mapa de cobertura 4G

Fonte: [24]

Da Figura 16, observa-se que a cobertura do serviço 4G é ainda menor que a do serviço 3G, obviamente por ser esta uma tecnologia recente e em fase de implantação.

A operadora TIM disponibiliza na internet informações de posicionamento das ERB's e da cobertura conforme o tipo de serviço 2G, 3G e 4G. Também é possível visualizar as ERB's em projeto ou em fase de instalação e a localização de pontos com serviço *Wi-fi*. As Figuras 17, 18, 19 e 20 mostram estas informações.

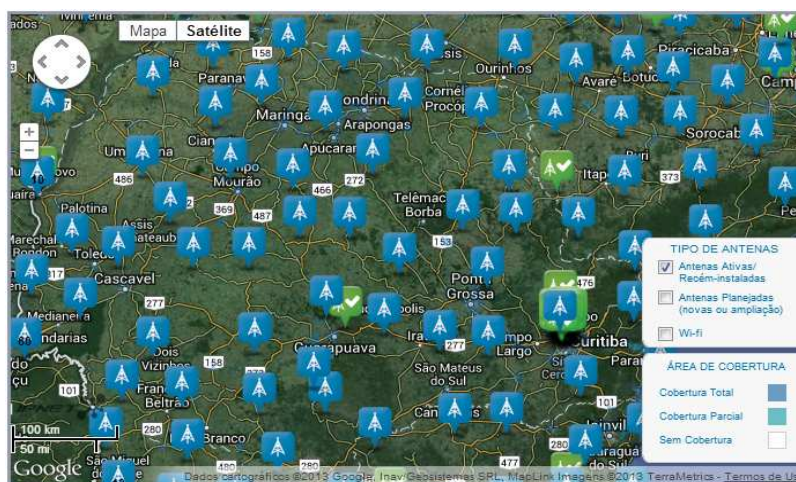


Figura 17, Posição das ERB's no Paraná



Fonte: [29]

Na Figura 17, observa-se a posição das ERB's ativas da operadora TIM no Estado do Paraná. Esta informação encontra-se disponível para todas as unidades da federação no site da mencionada empresa.

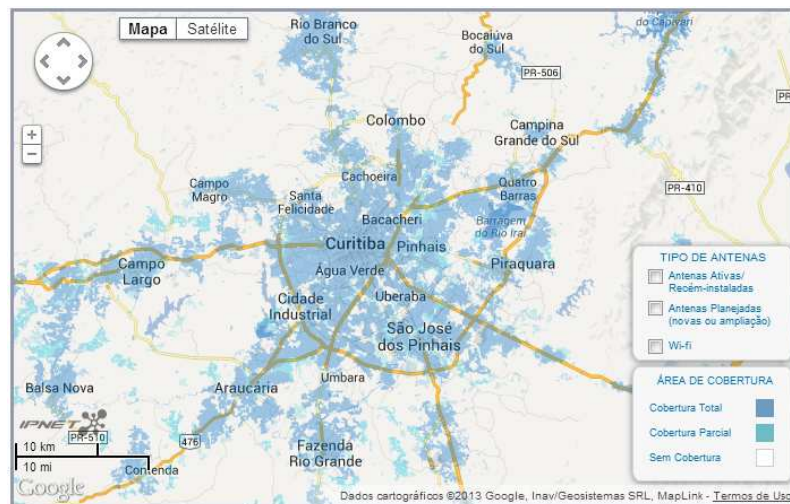


Figura 18, Mapa de cobertura GSM em Curitiba

Fonte: [29]

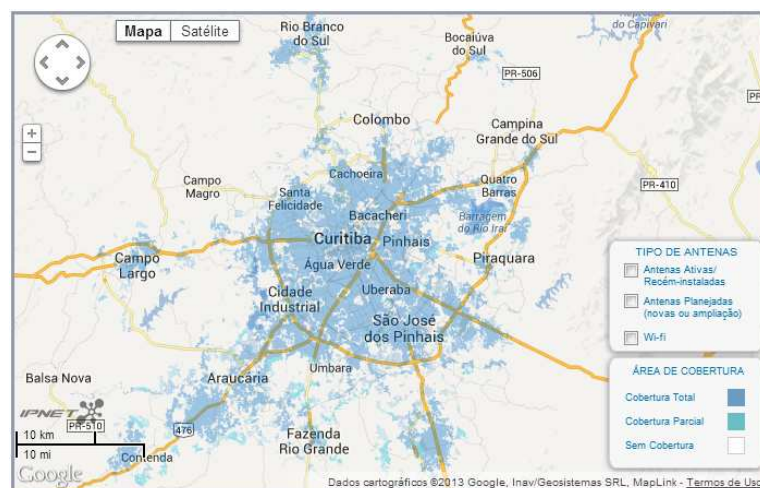


Figura 19, Mapa de cobertura 3G

Fonte: [29]



Figura 20, Mapa de cobertura 4G

Fonte: [29]

Das Figuras 18, 19 e 20, verifica-se a cobertura dos serviços 2G, 3G e 4G. Ao observar estes mapas conclui-se que a cobertura do serviço 4G é menor que a do serviço 3G, pois esta tecnologia é recente e sua implantação torna-se onerosa. As operadoras VIVO e OI apresentam informações de cobertura na internet, entretanto não permitem a visualização total de suas plantas, antes solicitam o endereço e apresentam a cobertura em uma área reduzida no entorno do endereço solicitado para os serviços 2G, 3G, 4G e *Wi-fi*.

Adiante serão apresentados os programas *Rádio Móvel* e *Celplanner*, os quais realizam predição de cobertura. Também será mostrada uma lista com pontos para testes nestes programas. Pretende-se ainda a realização de testes e medidas nestes pontos, os quais encontram-se no município de Oriximiná, interior do Pará.

### 3.3 SOFTWARE RÁDIO MÓVEL

O software *Rádio Móvel* foi desenvolvido pelo engenheiro canadense Roger Coudé. Este programa utiliza base de dados de altimetria SRTM, ou missão topográfica radar *shuttle*, onde o ônibus espacial *Endeavour*, sobrevoou a terra durante 11 dias no

mês de fevereiro do ano 2000, afim de obter um modelo de elevação digital e um conjunto completo de cartas topográficas digitais. A resolução horizontal das informações da base SRTM são de 3" (três segundos), e para cartas referentes ao território dos Estados Unidos a resolução é de 1" (um segundo), ou cerca de 30,87 metros [25].

Este programa permite a predição de cobertura de sistemas de radiocomunicação fixo e móvel, tipo ponto a ponto e ponto multiponto. O projeto pode ser estruturado em uma rede única ou em várias redes e é possível ainda a inclusão de um ou mais sistemas dentro de cada rede. Como resultado após a inserção dos parâmetros pode-se visualizar as posições das estações, o enlace com informações como: a primeira zona de Fresnel, azimuth, distância, atenuação no espaço livre, e atenuação do enlace [26].

A versão utilizada neste trabalho foi 11.2.6, com arquivo de linguagem em português do Brasil na tradução de Márcio Pereira. O modelo de propagação utilizado pelo *software* é o *Longley-Rice* na faixa de frequência de 20 MHz a 20 GHz. A Figura 21 apresenta uma imagem da região de Oriximiná/PA e pontos onde pretende-se realizar testes e medições de radiopropagação.

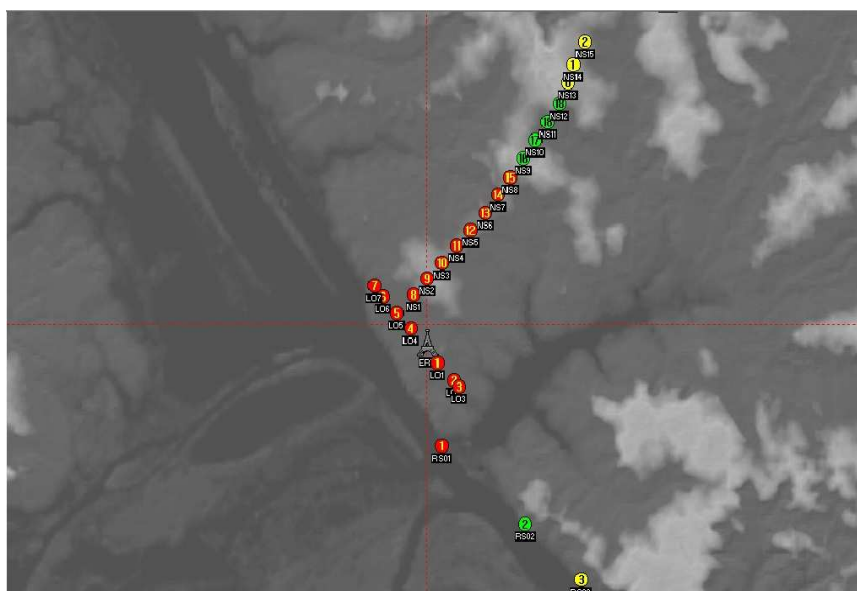


Figura 21, Imagem da topografia de Oriximiná/PA no Radio Móvel  
Fonte: O autor



Na Figura 22 temos a visualização do enlace entre a ERB e um ponto de medição na cidade de Oriximiná/PA, o perfil do terreno, a zona de Fresnel, e dados como azimuth, ângulo de elevação, atenuação total, perda no espaço livre entre outras características relevantes no projeto e *drive-test* de sistemas de radiocomunicação.

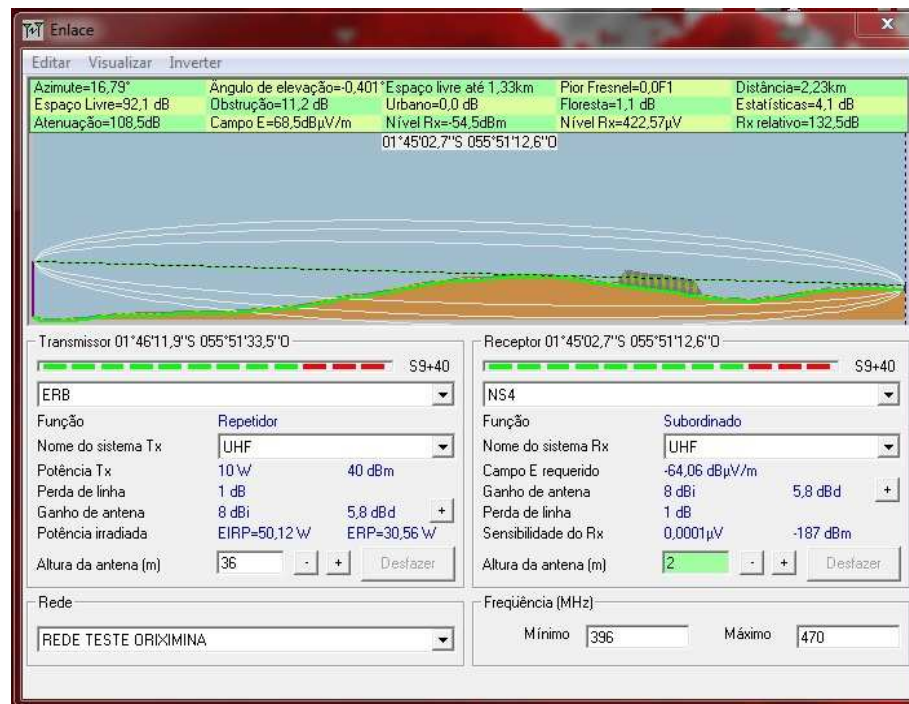


Figura 22, Enlace entre a ERB e um ponto de Oriximiná no Radio Móvil  
Fonte: O autor

Após a simulação realizada no *Rádio Móvil* foi montada a Tabela 4, onde são apresentados os resultados de nível de potência recebida para três sistemas de radiocomunicação. A potência de transmissão foi configurada como sistema 1 = 10W, sistema 2 = 70W e sistema 3 = 77W.

Tabela 4 – Níveis de recepção de sinal no Rádio Móvel

Ponto	ID	Dist (km)	Sistema1	Sistema2	Sistema3
			Rx (dBm)	Rx (dBm)	Rx (dBm)
1	LO1	0,47807777	-30,60	-28,90	-23,9
2	LO4	0,51412278	-24,90	-23,10	-18,1
3	LO5	0,98922625	-37,50	-35,70	-30,7
4	LO2	0,99417402	-42,90	-41,10	-36,1
5	NS1	1,15841728	-37,90	-36,10	-31,1
6	LO3	1,18905524	-45,60	-43,80	-38,8
7	NS2	1,46576814	-44,30	-42,60	-37,6
8	LO6	1,46626364	-40,20	-38,40	-33,4
9	LO7	1,78504147	-53,10	-51,40	-46,4
10	NS3	1,84892045	-57,80	-56,10	-51,1
11	NS4	2,29222921	-55,00	-53,30	-48,3
12	NS5	2,73565247	-57,60	-55,90	-50,9
13	NS6	3,22161307	-57,70	-55,90	-50,96
14	NS7	3,71001961	-58,90	-57,20	-52,2
15	NS8	4,18161003	-54,40	-52,60	-47,6
16	NS9	4,67586731	-53,80	-52,10	-47,1
17	NS10	5,16499122	-77,10	-75,30	-70,3
18	NS11	5,66041233	-77,10	-75,40	-70,4
19	NS12	6,15095625	-64,60	-62,80	-57,8
20	NS13	6,64805740	-57,80	-56,10	-58,9
21	NS14	7,12381190	-79,30	-77,60	-75,3
22	NS15	7,90685522	-79,30	-77,50	-72,5
23	NS16	9,55689912	-68,20	-66,50	-61,5
24	NS17	12,55800206	-73,60	-71,90	-66,9
25	NS18	14,34040190	-84,90	-83,20	-78,2
26	RS01	2,22251495	-64,50	-62,70	-57,7
27	RS02	4,55578476	-89,30	-87,60	-82,6
28	RS03	6,26723868	-83,50	-81,70	-76,7
29	RS04	10,79323707	-90,90	-89,20	-84,2

Fonte: O autor

Da Tabela 4, verifica-se que no ponto NS16, a distância de 9,55 km da ERB, os níveis de sinal recebido são: -68,20 dBm, -66,50 dBm e -61,50 dBm para os sistemas 1, 2 e 3 respectivamente. Os valores de potência recebida simulados no *Rádio Móvel* podem ser visualizados na Figura 23.

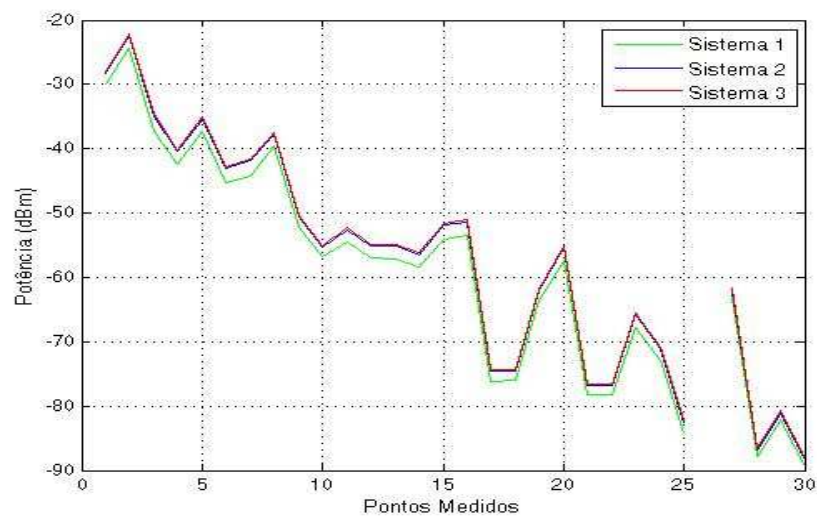


Figura 23, Medidas de potência recebida com Rádio Móvel

Fonte: O autor

Destaca-se da Figura 23, que os sistemas 2 e 3 tiveram o traçado acima do sistema 1, isto deve-se ao fato de que as potências de transmissão dos sistemas 2 e 3 são maiores que a potência de transmissão do sistema 1.

A Figura 24 apresenta a cobertura visual de Oriximiná, obtida com o programa.

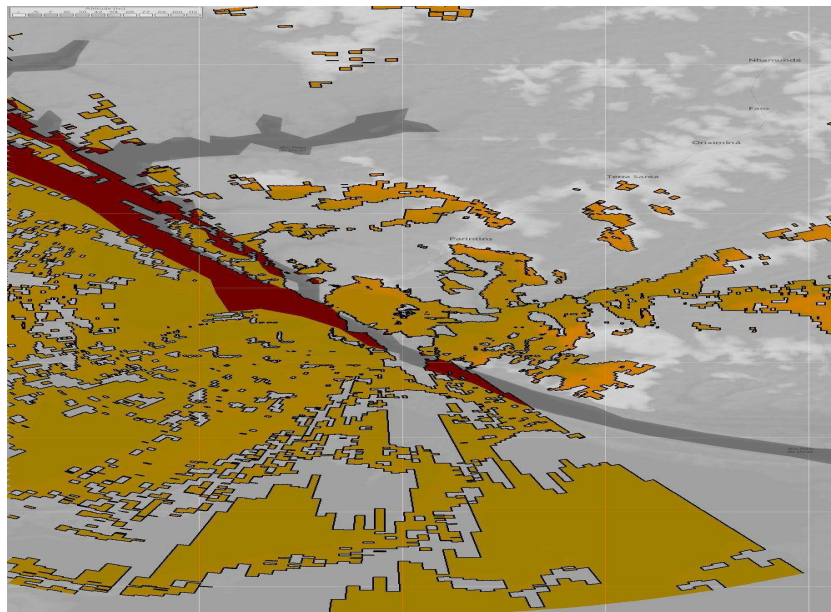


Figura 24, Cobertura visual de Oriximiná com *Rádio Móvel*

Fonte: O autor

Da Figura 24, verifica-se que o sentido do deslocamento de água no rio ocorre da esquerda para a direita e o sinal recebido à margem direita do rio Tombretas que banha a Cidade de Oriximiná possui um espalhamento amplo, por outro lado à margem esquerda o sinal é reduzido em função da variação de altitudes do terreno.

### 3.4 SOFTWARE CELPLANNER

O *software Celplanner* [27] é um produto comercial da empresa brasileira Celplan, sediada em Campinas – SP. O sistema consiste numa solução para projetos de RF, e pode trabalhar em múltiplas plataformas. Suporta várias tecnologias como AMPS *Advanced Mobile Phone System*, TDMA – *Time Division Multiple Access*, CDMA – *Code Division Multiple Access*, GSM – *Global System for Mobile Service*, LMDS – *Local Multipoint Distribution Service*, MMDS – *Multichannel Multipoint Distribution Service*, WCDMA – *Wideband Code Division Multiple Access*, Vídeo e LTE – *Long Term Evolution*. É um programa conhecido entre projetistas de RF, utilizado por várias operadoras de telefonia celular, e em muitos trabalhos acadêmicos. A versão utilizada neste trabalho foi a 9.3.

Além das operadoras de telefonia empresas como a Petrobrás e concessionárias de energia elétrica como a Copel (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) utilizam ou já utilizaram o *Celplanner* como ferramenta em seus projetos de RF.

O programa conta com tabela de antenas com respectivos ganhos, listas de frequências de operação, área de arquivos de topografia, morfologia, possibilidade de utilizar opções de arruamento. O sistema inclui vários modelos de predição de cobertura como Lee e Okumura-Hata. A apresentação dos resultados é feita de forma gráfica com esquema de cores e níveis de potência recebida na região de estudo. O usuário pode com um clique no mouse diante do resultado gráfico obter informações como perfil do terreno, nível de potência recebida, morfologia e decaimento de potência ao longo do perfil [22].

Na Figura 25 têm-se a imagem de Oriximiná/PA vista de cima, gerada a partir do *Celplanner*, com a indicação da posição da ERB de teste.



Figura 25, Imagem da topografia de Oriximiná no Celplaner

Fonte: O autor

A Figura 26 sumariza um enlace no qual é apresentado o perfil do terreno, zona de Fresnel, coordenadas e níveis de potência ao longo do enlace através do *Celplanner*.

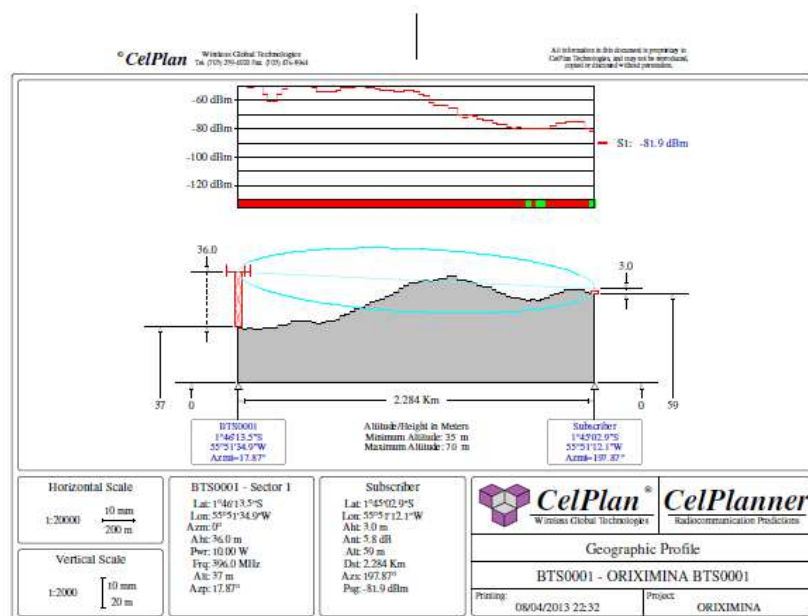


Figura 26, Enlace entre a ERB e um ponto de Oriximiná no *Celplanner*

Fonte: O autor



O *Celplanner* permite ainda uma visualização em 3D do terreno em estudo. A imagem pode ser monocromática ou colorida como segue apresentada nas Figuras 27 e 28.

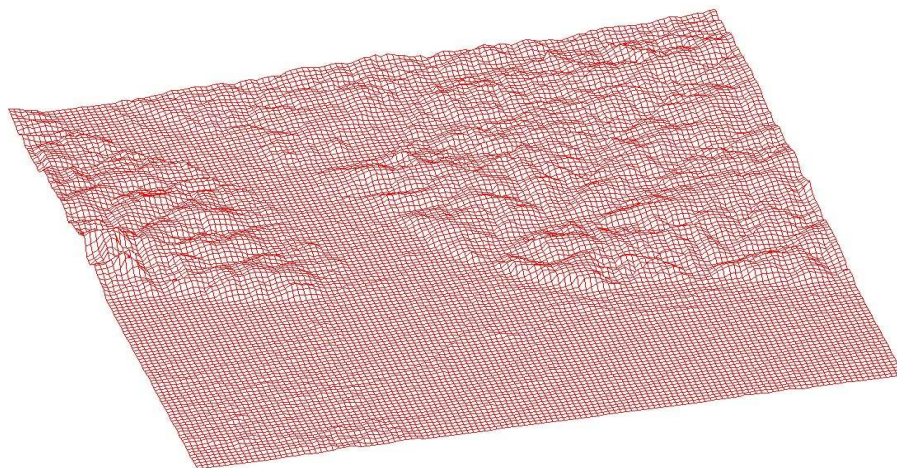


Figura 27, Imagem 3D monocromática de Oriximiná no *Celplanner*  
Fonte: O autor

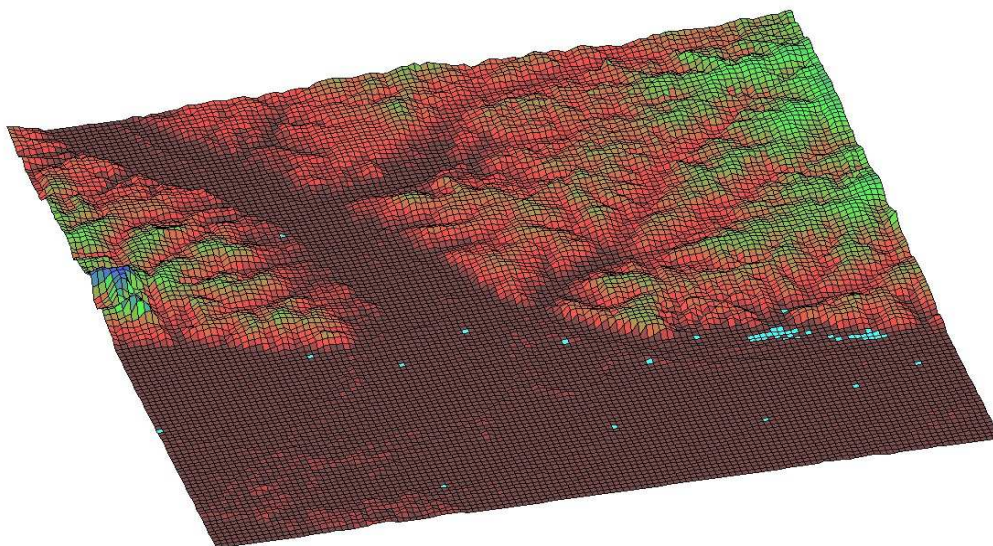


Figura 28, Imagem 3D colorida de Oriximiná no *Celplanner*  
Fonte: O autor

Para realizar a comparação dos programas procurou-se simular os mesmos pontos e verificar os resultados no *Celplanner*, o que segue apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Níveis de recepção de sinal no *Celplanner*

Ponto	ID	Dist (km)	Sistema1	Sistema2	Sistema3
			Rx (dBm)	Rx (dBm)	Rx (dBm)
1	LO1	0,47807777	-37,42	-37,05	-36,57
2	LO4	0,51412278	-33,95	-32,15	-31,15
3	LO5	0,98922625	-48,52	-48,02	-47,78
4	LO2	0,99417402	-46,12	-47,95	-48,15
5	NS1	1,15841728	-53,98	-45,15	-44,25
6	LO3	1,18905524	-50,77	-48,37	-47,75
7	NS2	1,46576814	-63,16	-58,12	-57,35
8	LO6	1,46626364	-48,68	-42,73	-41,35
9	LO7	1,78504147	-57,09	-54,03	-52,47
10	NS3	1,84892045	-73,78	-70,86	-69,36
11	NS4	2,29222921	-80,36	-61,09	-59,63
12	NS5	2,73565247	-82,41	-67,89	-65,42
13	NS6	3,22161307	-80,63	-69,12	-67,35
14	NS7	3,71001961	-79,33	-69,02	-67,04
15	NS8	4,18161003	-74,15	-61,85	-59,85
16	NS9	4,67586731	-73,74	-67,01	-65,13
17	NS10	5,16499122	-89,40	-89,04	-87,89
18	NS11	5,66041233	-91,80	-87,25	-84,73
19	NS12	6,15095625	-76,46	-71,48	-69,48
20	NS13	6,64805740	-89,40	-80,27	-78,46
21	NS14	7,12381190	-104,70	-89,41	-87,12
22	NS15	7,90685522	-102,23	-87,23	-84,38
23	NS16	9,55689912	-113,75	-99,74	-97,25
24	NS17	12,55800206	-117,55	-104,65	-101,47
25	NS18	14,34040190	-119,85	-115,54	-112,32
26	RS01	2,22251495	-69,74	-69,72	-67,56
27	RS02	4,55578476	-78,95	-78,34	-76,41
28	RS03	6,26723868	-84,89	-81,02	-79,53
29	RS04	10,79323707	-99,64	-89,12	-87,78

Fonte: O autor

Da Tabela 5, verifica-se que no ponto NS16, os níveis de potência recebida são: -113,75 dBm, -99,74 dBm e -97,25 dBm, para os sistemas 1, 2 e 3 respectivamente. A Figura 28 mostra os níveis de recepção de sinal dos 3 sistemas simulados no *Celplanner*.

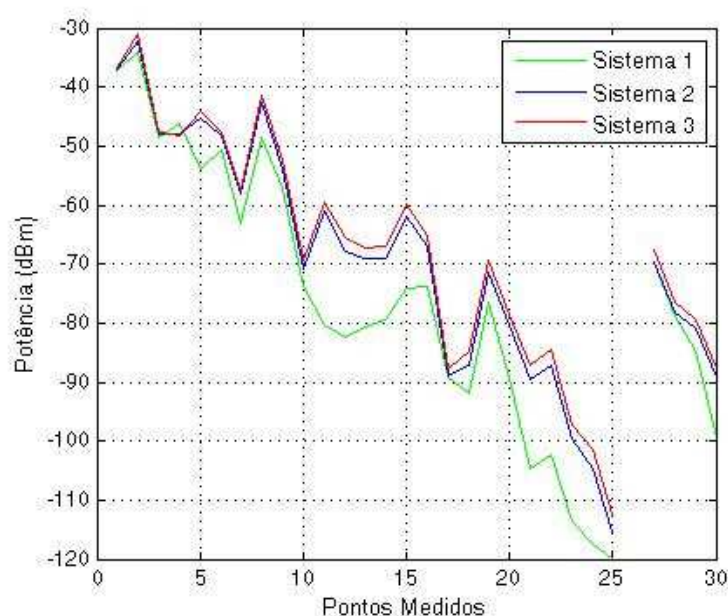


Figura 29, Medidas de potência recebida com *Celplanner*  
Fonte: O autor

Destaca-se da Figura 29, que o sistema 1 apresentou traçado divergente da tendência dos outros sistemas 2 e 3. Isto deve-se a configurações de *setup* do programa com características específicas de ganhos e perdas das antenas, cabos e conectores e ainda à base de dados de topografia e morfologia que neste caso são mais detalhadas.

## CONCLUSÃO

A visualização gráfica do mapa de cobertura constitui o resultado desejado de um programa de predição. O uso de *softwares* para esta finalidade é uma condição desejável e vantajosa para o desenvolvimento de projetos de RF. Ao considerar-se as necessidades do projeto tais como: cobertura, tráfego, número de usuários, tipo de serviço, taxas de dados, recursos de criptografia, entre outros, se torna-se oportuno a aplicação deste tipo de programa com maior ou menor grau de sofisticação, de acordo com os requisitos do projeto.



Reunir este tipo de informação sem necessariamente realizar um teste de campo é uma vantagem significativa no desenvolvimento do projeto.

As características de um software de cobertura podem variar conforme a robustez e complexidade do sistema, entretanto um conjunto mínimo de dados requeridos são as bases de coordenadas geográficas das estações, bases contendo informações de arruamento, topografia, e morfologia.

O *software* Rádio Móvel funciona com base de topografia SRTM, modelo de propagação *Longley-Rice*, e as bases de arruamento podem ser extraídas do *Google Maps*, *Yahoo Maps*, entre outros. Este programa possibilita um resultado razoável, se comparado à atenuação no espaço livre, entretanto por utilizar um modelo de propagação desenvolvido para o hemisfério norte, apresenta algumas diferenças nos resultados de potência recebida quanto a precisão, possivelmente em função da morfologia do terreno associada ao comportamento de RF em clima equatorial.

O *software Celplanner* por ser uma ferramenta comercial apresentou desempenho superior ao Rádio Móvel, entretanto o uso em aplicações de segurança pública fica condicionado à aquisição do programa. Da mesma forma o uso acadêmico fica sujeito a concessão da empresa e restrito ao conjunto de funcionalidades autorizado pela mesma.

Desta forma conclui-se da importância do uso de *softwares* de predição de cobertura, das características necessárias para que um programa deste tipo funcione adequadamente. Verifica-se ainda aspectos como as limitações de um programa gratuito, como a precisão nos resultados e a resposta do modelo para diferentes localidades, ou as restrições do uso de uma solução comercial. Estes fatores somam-se à motivação do desenvolvimento de um algoritmo próprio que atenda os anseios e supra as necessidades tanto para aplicações de segurança pública quanto para uso acadêmico.

## REFERÊNCIAS

- [21] FRIEDMAN, Raul M. P - Fundamentos **de Orientação, Cartografia e Navegação Terrestre** – Editora UTFPR – 3ª Edição – Revista e Atualizada – Curitiba-PR, 2009.
- [22] SILVA, Guilherme de Magalhães Ottoni da. **Desenvolvimento de Algoritmo para Predição de Cobertura de Bloqueio de Radio-Frequencia em HF/VHF/UHF/ 130f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2009.
- [23] RAMALHO, Guilherme Rosse, **Uma Ferramenta de Predição e Avaliação de Cobertura para Sistemas de Comunicação Ponto-Área** 154f. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL – Santa Rita do Sapucaí, 2006.
- [24] Mapas cobertura GSM/3G/4G – Claro. Disponível em: < <http://corp.maplink.com.br/homologacao/ClaroAreaCobertura/>>. Acesso em julho de 2013.
- [25] SRTM, **Shuttle Radar Topography Mission**, disponível em < <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>, acesso em abril de 2013.
- [26] RADIO MÓBILE, **Software de Predição de Cobertura**, disponível em < <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>>, acesso em junho de 2012.
- [27] CELPLANNER. Celplan: – Celplan wireless global Technologies - **Descrição do Software** – Dezembro de 2012, disponível em: <[http://www.celplan.com.br/uploads/files/celplan/02produtoseservicos/02ferramentadesoftware/01\\_celplanner.pdf](http://www.celplan.com.br/uploads/files/celplan/02produtoseservicos/02ferramentadesoftware/01_celplanner.pdf)>, acesso em dezembro de 2012.
- [28] Google Earth – Aplicativo de visualização 3D da Terra. Disponível em <<http://www.earth.google.com.br>>. Acesso em outubro de 2012.
- [29] Mapas TIM 2G/3G/4G. Disponível em: <<http://qualidade.tim.com.br/?gclid=CP7imvaJ0LkCFadi7AodoDcA3A>>. Acesso em setembro de 2013.

[30] ALVES, Augusto, **Mapeamento do posicionamento geográfico de estações rádio base do serviço móvel celular utilizando sensoriamento remoto**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4039. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0333.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

## CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO

*Este capítulo trata da implantação do algoritmo desenvolvido em Matlab, bem como dos testes deste sistema e sua comparação com programas de grande aplicação em predição de cobertura e projetos de RF como o Radio Móbile e o Celplanner.*

### 4.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um algoritmo de predição de cobertura não era inicialmente o objetivo deste trabalho. Entretanto com a análise de simulações, cálculos e um conjunto de medidas iniciais verificou-se que seria possível a implantação de equações matemáticas no *Matlab*, e a obtenção de resultados similares aos alcançados em programas já consagrados nos projetos e trabalhos acadêmicos desta área.

A partir deste ponto foram direcionados esforços para implementar um algoritmo para realizar a predição de cobertura em sistemas de radiocomunicação utilizados por órgãos de segurança pública, mais notadamente as polícias militares.

Este algoritmo pode ser utilizado para predição de sistemas de radiocomunicação, bastando inserir os dados do enlace como frequência de operação, coordenadas geográficas das estações, escolher o modelo de predição e obter o mapa de cobertura desejado.

### 4.2 MATLAB

Para melhor compreensão dos resultados e até mesmo com objetivo de verificar o desempenho das aplicações e a busca por um algoritmo capaz de permitir a geração de dados em outros locais onde não ocorreram testes, iniciou-se um trabalho no *Matlab*®. O primeiro passo foi utilizar as aplicações do *Google* a partir do *Matlab*, através do *Google API's*. API – *Application Programming Interface*, ou interface de programação de aplicações, é um conjunto de instruções e padrões de programação para acesso a um aplicativo de programa baseado na internet. Com a API do *Google*

*Maps* [31], foi possível a partir de alguns pares de coordenadas gerar um mapa do Google como figura do *Matlab*. Desta forma pode-se utilizar os tipos de mapas disponíveis do *Google Maps*, como mapa rodoviário, que apresenta as informações de arruamento, mapa de terreno, mapa com imagens de satélite e mapa híbrido (imagens + arruamento).

O conjunto de API's do *Google Maps* contempla pacotes de interface para diversas linguagens de programação e vários tipos de serviços. Existem as seguintes APIs:

- *Google Maps JavaScript API;*
- *Google Maps API for Flash;*
- *Google Earth API;*
- *Google Static Maps API;*
- Serviços da web:
- *Geocoding API;*
- *Directions API;*
- *Elevation API;*
- *Places API;*

A ferramenta *Google Maps API* fornece através da URL, localizador padrão de recursos, informações no formato solicitado tipo:

#### **PROTOCOLO://SERVIDOR/CAMINHO/RECURSO**

Exemplo de opções de solicitação:

Tipo de recurso: staticmap?

Centro do mapa: center=-25.441977,-49.264730

Nível de aproximação: zoom=15

Tamanho da imagem: size=640x640

Tipo de mapa: maptype=hybrid

Personalização do mapa: style=feature:all|element:labels|visibility:off → se on, permite ver arruamento e pontos notáveis contidos no *Google*.

Indicação do uso de GPS: sensor=false

<http://maps.google.com/maps/api/staticmap?&center=-25.441977,-49.264730&zoom=15&size=640x640&maptype=hybrid&style=feature:all|element:labels|visibility:on&sensor=false>

Ao ser inserida na linha de endereços do seu navegador a url acima, o resultado é uma mapa híbrido de parte da região central de Curitiba, com resolução 640 x 640, que é mostrado na Figura 30.

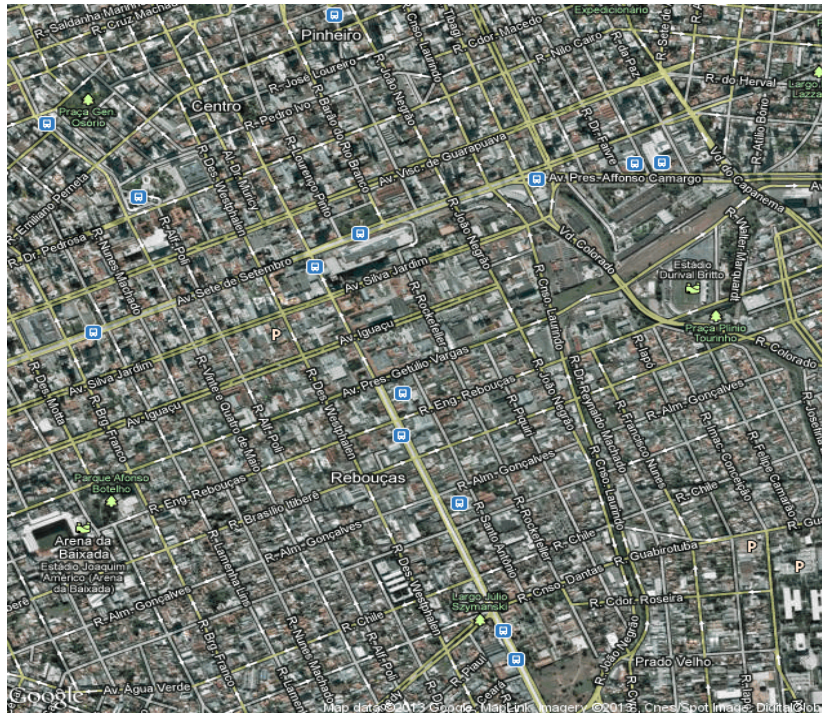


Figura 30, Resultado da solicitação de mapa *Google API*.

Fonte: O autor

De acordo com [36] um SIG, sistema de informações geográficas ou do inglês GIS, é uma estrutura de informação em camadas. Qualquer projeto nessa área necessita de várias camadas afim de apresentar as informações necessárias ou relevantes sobre o assunto. Desta forma a utilização do Matlab e das ferramentas Google permitem obter resultados em camadas de informações geográficas.

#### 4.3 O ALGORITMO


A partir da obtenção dos mapas, o passo seguinte foi elaborar um *script* capaz de gerar os mapas necessários a partir das coordenadas iniciais e também definir o raio da célula a ser estudada. As coordenadas obviamente são tratadas no formato graus

decimais para as manipulações e cálculos necessários. Os resultados foram a geração de figuras com raio da célula e mapas que podem ser observados adiante, para tanto utilizou-se uma parte do script *plot\_google\_map*, disponível no *site mathworks* [31]. A seguir são apresentadas algumas imagens do algoritmo, a começar pela Figura 31, tela de *login* e senha.



Figura 31, Tela inicial com *login* e senha  
Fonte: O autor

Após a entrada no algoritmo, são solicitadas informações do enlace como frequência, potência da ERB, altura da antena transmissora na torre e o raio da célula. A Figura 32 sumariza esta entrada de dados no algoritmo. Outros dados como o sistema desejado, a localidade onde se pretende rodar a predição são solicitadas através de menus. As escolhas do padrão de rádio e da região onde se deseja analisar são mostradas na Figura 33.



ENTRADA ...

Frequencia (MHz)

Potencia (Watt)

Raio da Celula (km)

Altura da Torre (m)

OK Cancel

Figura 32, Tela de entrada de dados do algoritmo  
Fonte: O autor



M..

Qual o padrao?

TETRA

APCO-25

MENU

Qual regioao deseja executar predicao?

Curitiba

Brasilia

Oriximiná

Digitar Lat Lon

Figura 33, Menus de opções de sistema e região  
Fonte: O autor

Da Figura 33, verifica-se a opção de sistema, inserido no algoritmo os sistemas em uso pelas forças de segurança, que são o TETRA e o APCO-25, os quais serão apresentados no capítulo 5. Verifica-se ainda no menu de escolha da região desejada as cidades de Curitiba, Brasília, Oriximiná e a última opção para inserção de coordenadas geográficas se a região for diferente das anteriores.

A Figura 34 apresenta a imagem híbrida (satélite + arruamento) com as coordenadas geográficas, latitudes na ordenada e longitudes na abscissa.



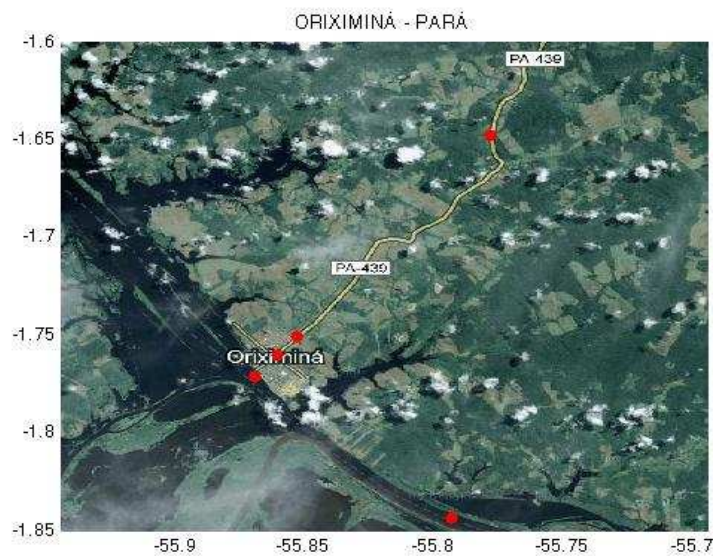


Figura 34, Vista de Oriximiná no algoritmo  
Fonte: O autor

Da Figura 34, têm-se a imagem híbrida (satélite + arruamento), no algoritmo é possível escolher o tipo de imagem do mapa, que pode ser: arruamento, satélite, híbrido, e terreno. Esta última apresenta uma idéia da topografia do terreno. Estas opções são as alternativas disponíveis na API *Google Maps*.

Na Figura 34 tem-se a imagem do círculo de cobertura com um determinado ângulo de observação, gerados no algoritmo em Matlab que apresenta as coordenadas geográficas e API *Google Maps* com arruamento da cidade de Curitiba ao fundo. Para tanto foram utilizados algumas funções matemáticas envolvendo métodos numéricos que e relações matriciais que são a base da ferramenta Matlab [32].



Figura 35, Mapa de Curitiba, ângulo e círculo de cobertura  
Fonte: O autor

Destaca-se da Figura 35, o mapa ao fundo é da Cidade de Curitiba, com o propósito de apresentar a funcionalidade do algoritmo realizar predições em qualquer localidade da superfície terrestre.

Com o mapa e a visualização do ângulo de observação, buscou-se realizar a leitura do vetor de altimetria do arquivo SRTM correspondente, sendo gerado ao final um gráfico do perfil com dados de elevação do terreno, como apresentado na Figura 36.

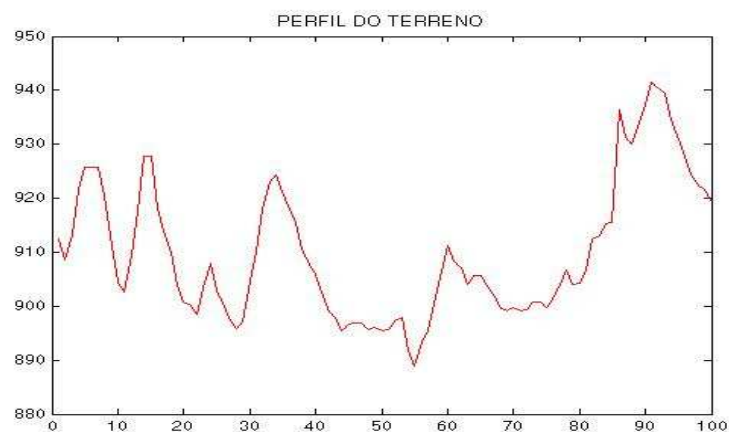


Figura 36, Perfil e elevação do terreno  
Fonte: O autor

O perfil apresentado na Figura 36 corresponde ao ângulo traçado mostrado na Figura 35, desta forma este perfil apresenta o contorno topográfico de Curitiba, no ângulo indicado.

Momento seguinte após a geração do perfil do terreno, foi gerada outra matriz contendo o decaimento em [dBm] ao longo deste perfil, a figura então foi modificada para apresentação do perfil em conjunto com o decaimento de potência, o que é mostrado na Figura 37.

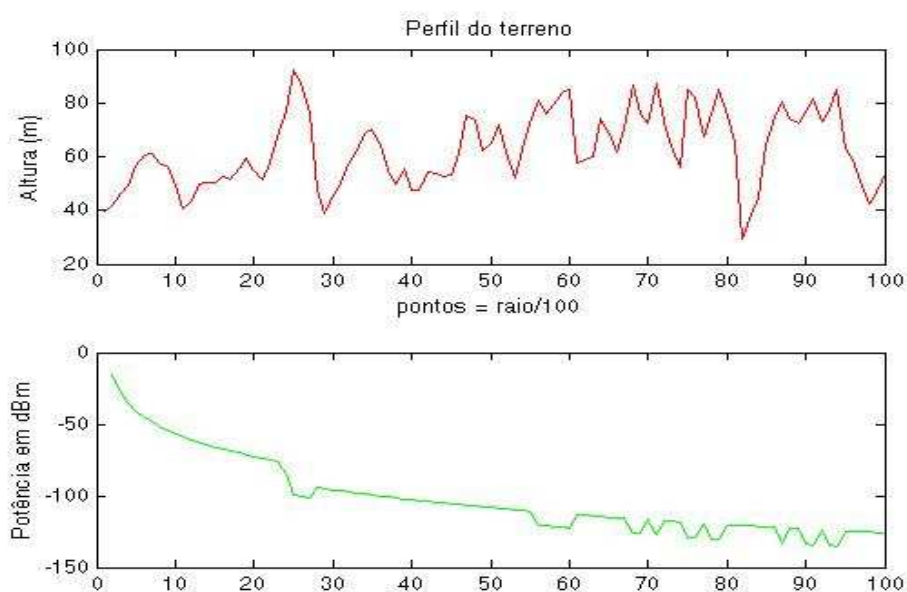


Figura 37, Perfil do terreno e decaimento de potência no algoritmo.  
Fonte: O autor

Na Figura 37, pode-se visualizar o perfil do terreno e o decaimento de potência para uma simulação em Oriximiná/PA, percebe-se que a variação de altimetria é de 30 a 90 metros.

Depois da elevação, procurou-se plotar a resultado em 360 graus afim de obter uma imagem em 3D do terreno, e o resultado segue apresentado na Figura 38.

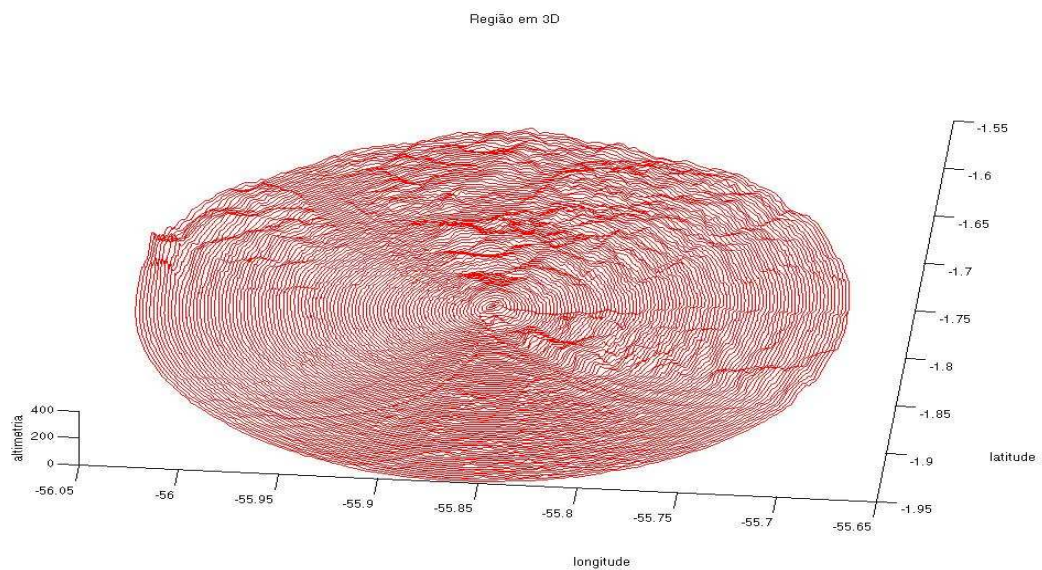


Figura 38, Imagem 3D monocromática gerada no algoritmo  
Fonte: O autor

Com a imagem 3D do terreno, foram inseridas as coordenadas dos pontos de medição desejados em Oriximina, o resultado é apresentado na Figura 39.

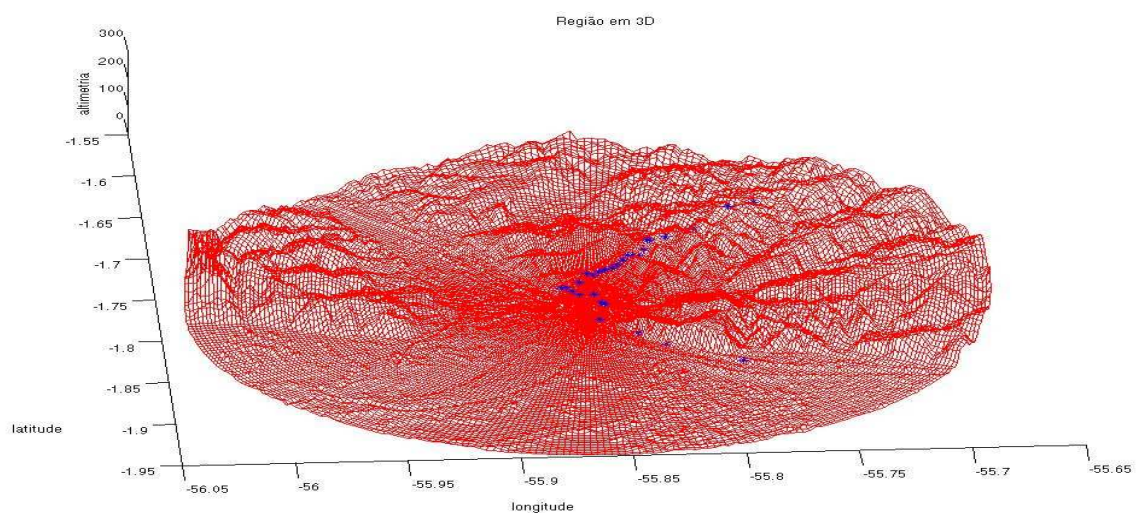


Figura 39, Imagem 3D monocromática com pontos de medição  
Fonte: O autor

O objetivo do algoritmo é além da confirmação dos resultados medidos em campo (*drive test*) a comparação com uma ferramenta gratuita como o Rádio Móvel e uma profissional como o *Celplanner*. Outro aspecto esperado é a possibilidade de

aplicação em outros locais, onde não ocorreram testes de campo. Para isso é necessário a ferramenta Matlab, conexão com a internet e antes de iniciar um novo projeto, baixar os dados de altimetria da base SRTM [34] que encontram-se disponíveis no site:

[http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/South\\_America/](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/South_America/)

Caso a área de interesse seja fora da região da América do Sul, basta buscar no na aba anterior do endereço acima a região desejada. Em seguida é necessário configurar o algoritmo para acesso ao endereço onde a base estiver armazenada, ou ainda para que todas as informações sejam baixadas automaticamente *on line*, entretanto esta última opção mostrou-se mais lenta que o acesso a base armazenada previamente.

Segundo [37], o projeto SRTM não levantou dados que permitam a geração de modelos digitais de terrenos das florestas amazônicas. As bases geradas apresentaram desvio padrão das alturas das árvores entre 5 e 15 metros. Por essa razão foi utilizada a referência de altura de 30 metros. Desta forma no algoritmo foi introduzido uma matriz com dados de altura das árvores e adicionado às informações da base SRTM, resultando assim numa melhor aproximação da realidade.

O uso do algoritmo permite a obtenção de resultados para locais onde obviamente não é possível a realização do *drive test*, desta forma torna-se possível a tarefa de prever ou realizar a predição de cobertura de sinal de rádio, mesmo em ambientes onde não foram desenvolvidos testes e medições. A Tabela 6 mostra os níveis de recepção de sinal no algoritmo.



Tabela 6 – Níveis de recepção de sinal no Algoritmo

Ponto	ID	Dist (km)	Sistema1	Sistema2	Sistema3
			Rx (dBm)	Rx (dBm)	Rx (dBm)
1	LO1	0,47807777	-30,5761	-29,5637	-25,6337
2	LO4	0,51412278	-30,3454	-29,5629	-25,6330
3	LO5	0,98922625	-44,0566	-43,1007	-39,1707
4	LO2	0,99417402	-44,5750	-25,7776	-21,8476
5	NS1	1,15841728	-47,5931	-46,6563	-42,7263
6	LO3	1,18905524	-47,5901	-46,6533	-42,7233
7	NS2	1,46576814	-51,9347	-51,0240	-47,0940
8	LO6	1,46626364	-51,4017	-50,4876	-46,5576
9	LO7	1,78504147	-55,6043	-54,7180	-50,7880
10	NS3	1,84892045	-56,0332	-55,1500	-51,2200
11	NS4	2,29222921	-60,5614	-59,7122	-55,7822
12	NS5	2,73565247	-63,8768	-63,0551	-59,1251
13	NS6	3,22161307	-67,4567	-66,6670	-62,7370
14	NS7	3,71001961	-67,1411	-66,2039	-62,2739
15	NS8	4,18161003	-73,3061	-72,5750	-68,6450
16	NS9	4,67586731	-67,4024	-66,5592	-62,0729
17	NS10	5,16499122	-78,0383	-77,3605	-73,4305
18	NS11	5,66041233	-70,8253	-69,7049	-65,7749
19	NS12	6,15095625	-72,5934	-71,4729	-67,5429
20	NS13	6,64805740	-73,6796	-72,5591	-68,6291
21	NS14	7,12381190	-74,9466	-73,3367	-69,8015
22	NS15	7,90685522	-76,5812	-75,6808	-71,7508
23	NS16	9,55689912	-92,4675	-91,4585	-87,5285
24	NS17	12,55800206	-108,8715	-93,2923	-89,3623
25	NS18	14,34040190	-116,8089	-115,6434	-111,7134
26	RS01	2,22251495	-59,6696	-58,8133	-54,8833
27	RS02	4,55578476	-67,4081	-66,2876	-62,3576
28	RS03	6,26723868	-82,0386	-81,4100	-77,4800
29	RS04	10,79323707	-95,9562	-81,1129	-77,1828

Fonte: O autor

Da Tabela 6 destaca-se o ponto NS16, onde os níveis de potência recebida foram -92,4675 dBm, -91,4585 dBm e -87,5285 dBm respectivamente nos sistemas 1, 2 e 3. A Figura 40 mostra os níveis de recepção de sinal dos 3 sistemas simulados no algoritmo.

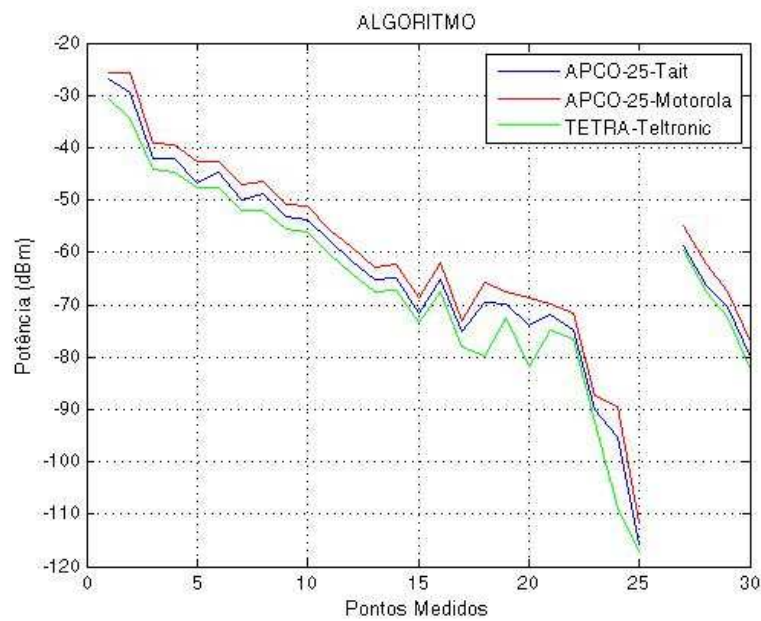


Figura 40, Medidas de potência recebida com Algoritmo  
Fonte: O autor

O fluxograma apresentado na Figura 41, resume o funcionamento do algoritmo proposto.

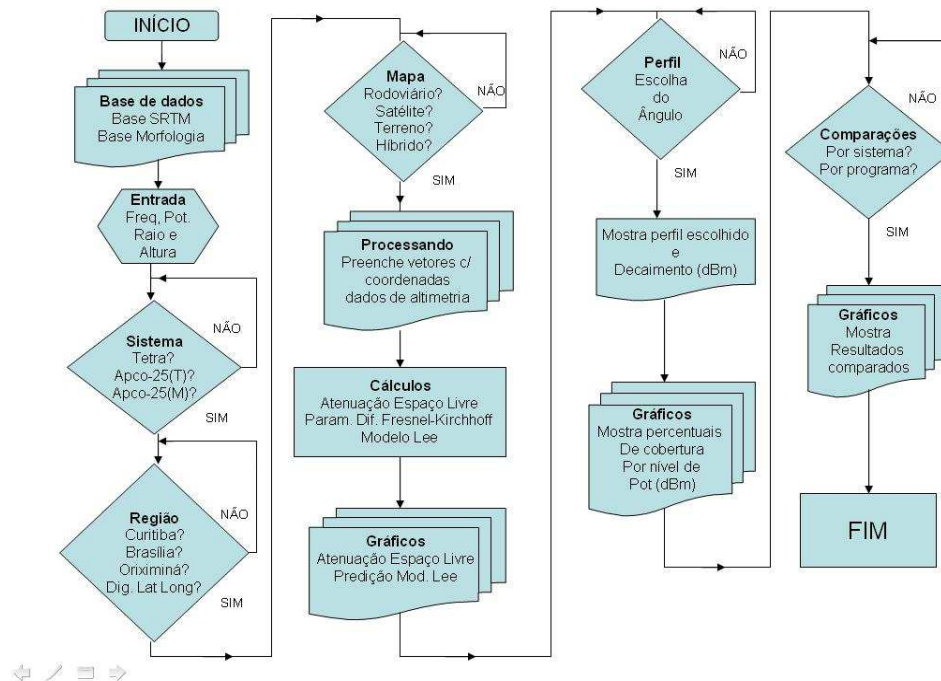


Figura 41, Fluxograma do algoritmo desenvolvido em Matlab®  
Fonte: O autor

Da Figura 41, verificam-se as etapas do algoritmo, após iniciado, se faz necessário o acionamento das bases de dados de topografia e morfologia. Na etapa seguinte são solicitadas as entradas de dados que são: frequência em MHz, potência em Watts, Raio da célula em km e altura da antena transmissora em metros. Após isso, é gerado um menu para escolha do sistema, neste caso as opções são: Tetra (Teltronic), Apco-25 (Motorola) e Apco-25 (Tait). No momento seguinte é gerado outro menu para escolha da região, onde as alternativas são: Curitiba, Brasília, Oriximiná ou a digitação das coordenadas latitude e longitude. Vencida esta fase, outro menu é gerado para escolha do tipo de mapa, com as opções: mapa rodoviário, satélite, terreno ou híbrido (satélite + rodoviário). Encerrada esta fase, o algoritmo iniciará uma etapa de processamento calculando e preenchendo vetores com coordenadas geográficas e dados de altimetria. No momento seguinte são calculadas a atenuação no espaço livre, os parâmetros de difração de Fresnel-Kirchhoff e as perdas utilizando o modelo de Lee. São então apresentados gráficos, entre os quais o mapa de cobertura com o raio da célula escolhido, e é solicitada a digitação de um ângulo entre 1 e 360 graus. Com este ângulo é gerado outro gráfico que mostra o perfil do terreno no ângulo escolhido e o decaimento de potência em dBm neste perfil. Um último menu é gerado e solicita-se o tipo de comparação a fazer, tendo como opções: escolha por sistema: neste caso são comparados em todos os programas (Algoritmo, *Radiomobile*, *Celplanner* e medidas) o sistema desejado (TETRA ou APCO-25), ou por programa. Neste último caso todos os sistemas (TETRA-Teltronic, APCO-25 – Motorola e APCO-25 - Tait) são comparados com todos os resultados escolhido um único programa (Algoritmo, *Radiomobile*, *Celplanner* e medidas). Tendo desta forma 12 tipos de comparações.

## CONCLUSÃO

Buscou-se neste capítulo explicitar o desenvolvimento de um algoritmo que permitisse a obtenção de resultados de recepção de sinal. Neste caso não é necessário a realização de *drive-test*, pois os parâmetros já foram computados e pode ser aplicado para outros ambientes, tendo assim possibilidade de permitir a análise de cobertura de sinal em diversas localidades, e ainda ser aplicado de forma educacional. O algoritmo



atende as necessidades básicas de uso acadêmico e conforme a circunstância, gera resultados satisfatórios para as faixas de frequência e tipos de serviços de radiocomunicação aplicáveis em segurança pública. Em particular atende aos interesses das polícias militares, uma vez que são as corporações mais numerosas e com maior demanda de serviços de radio atendimento entre as demais forças de segurança no território nacional. Os softwares *Radiomóbile* e *Celplanner*, serviram como base de apoio e referencia ao programa proposto, o qual atende aos objetivos motivadores de sua concepção.

Cabe como referência para novos trabalhos a continuidade deste, para que possa ser utilizado em outras aplicações, com tipos diferentes de antenas, serviços, técnicas de modulação, técnicas de acesso ao meio, entre outras. Enfim espera-se que tenham sido proveitosas as contribuições do presente trabalho. No capítulo 5, são discutidos os testes deste tipo de propagação que foram realizados na cidade de Oriximiná, no Estado do Pará.

Verifica-se que é possível ainda disponibilizar os resultados deste algoritmo via *Web*, segundo [35] com uma programação relativamente simples em HTML *Hyper Text Markup Language*, pode-se adaptar qualquer conteúdo de simulações feitas no Matlab para trabalhar via *Web*, desta forma a oferta para utilização do algoritmo seria ampliada.

## REFERÊNCIAS

- [31] MATLAB, Mathworks - **plot\_google\_map**, by Zohar Bar-Yehuda, disponível em: <<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27627-plotgooglemap>>, Acesso em janeiro de 2013.
- [32] GILAT, Amós, Subramanian, Vish. **Métodos Numéricos para Engenheiros e Cientistas** – Departamento de Engenharia Mecânica – The Ohio State University, 2008. 480p. Editora Bookman, 2008.
- [33] Google Maps API's – **Guia do Desenvolvedor da API do Google Static Maps v2** – disponível em: <https://developers.google.com/maps/documentation/staticmaps/?hl=pt-br>>, acesso em outubro de 2012.
- [34] SRTM, **Shuttle Radar Topography Mission**, arquivos de topografia. Disponível em <[http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/South\\_America/](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/South_America/)>. Acesso em abril de 2013.
- [35] Flávio de Melo, Leonimer. **Ferramenta de Ensino de Engenharia de Tráfego Telefônico a Distância Através da Web**, Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v.33, n. 2, p. 229-242, jul./dez. 2012. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/11785>>. Acesso em setembro de 2013.
- [36] Miguel Meireles Teixeira, Hugo. **Móble Trails: Aplicação Móvel com Localização Geográfica**. Mestrado em Redes de Comunicação, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, outubro de 2009. Disponível em <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/570037/1/Dissertacao.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.
- [37] Marinho Alex K. Melo. **Adaptação do Modelo de Tamir para Predição de Cobertura de Sistemas HF/VHF em Florestas Usando Bases Digitais de Terreno**. XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT 2011, 02-05 de outubro de 2011, Curitiba, PR. Disponível em <[http://www.dee.ufma.br/~fsouza/Anais\\_SBrT\\_2011/papers/completos/85304.pdf](http://www.dee.ufma.br/~fsouza/Anais_SBrT_2011/papers/completos/85304.pdf)>. Acesso em maio de 2013.

## CAPÍTULO 5 IMPLANTAÇÃO, E VALIDAÇÃO DO ALGORITMO

*Este capítulo descreve os testes de radiocomunicação dos padrões TETRA e APCO-25 realizados na cidade de Oriximiná/PA a convite do Grupo Enafon-Senap-Ministério da Justiça. Incluiu-se ao conteúdo do capítulo tabelas, diagramas, fotos, bem como dados aferidos pela Anatel e pelas empresas participantes. São ainda apresentadas predições de cobertura afim de validar o algoritmo proposto.*

### 5.1 INTRODUÇÃO

A fim de validar o algoritmo além das comparações já efetuadas com outros programas conforme mostrado no capítulo anterior buscou-se a comparação com medições reais. Com este propósito de aproveitar a oportunidade o grupo de pesquisa da Universidade Federal do Paraná – DELT, a convite do Grupo de Trabalho de Radiocomunicações – GT Comunicações da Secretaria Nacional de Segurança Pública – SENASP esteve no município de Oriximiná, no interior do Estado do Pará. Este local foi escolhido pela SENASP, para realização de testes dos equipamentos de radiocomunicação que operam nos padrões APCO-25, TETRA e TETRAPOL, os quais são utilizados pelos órgãos de segurança pública do país.

O padrão APCO-25, desenvolvido em 1989, é utilizado por forças de segurança norte americanas, possui operação em modo digital convencional e troncalizado e mantém compatibilidade com sistemas analógicos. No modo troncalizado a técnica de acesso é FDMA. O maior operador no Brasil é a Polícia Militar do Estado de São Paulo [39].

O padrão Tetrapol surgiu na França no início dos anos 1990 numa parceria entre as forças de segurança daquele país e a empresa Matra Comunicações. Este padrão opera em modo troncalizado, com técnica de acesso ao meio FDMA, no Brasil é utilizado pela Polícia Federal [40].

O padrão TETRA surgiu em 1994, foi registrado no ETSI, possui operação em modo troncalizado e técnica de acesso TDMA. Este padrão possui recursos de transmissão de dados. Os usuários deste padrão são as secretarias de segurança pública do Rio de Janeiro, da Bahia e a Polícia Rodoviária Federal [41].

O objetivo dos testes foi de obter um comparativo entre as três tecnologias, para auxiliar possível escolha de um padrão a ser implantado na faixa de fronteira do Brasil com outros dez países (Uruguai, Argentina, Paraguai, Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa). No lado brasileiro, a faixa de fronteira envolve os Estados (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá).

Os testes foram então definidos a partir de uma rotina escrita por pesquisadores da Universidade Federal do Paraná, e uma nota técnica emitida pela Anatel para execução dos testes.

De acordo com [38] modelos específicos ou métodos e recomendações da ITU podem não aderir adequadamente às condições topográficas e morfológicas do território brasileiro. Para correção das eventuais diferenças utilizam-se métodos de aproximação dos modelos ou alternativas como a aplicação de redes neurais artificiais. O objetivo dos testes que serão mostrados adiante é a validação do algoritmo desenvolvido, considerando-se uma margem de erro ou diferença pequena entre resultados medidos e simulados seja aceitável.

## 5.2 TESTES

A realização dos testes foi acompanhada por representantes da Anatel, da SENASP, dos Estados fronteiriços, da UFPR e UFTO, e das empresas representantes dos sistemas APCO-25, TETRA. Os representantes do sistema TETRAPOL não participaram dos testes, por outro lado estiveram presentes em Oriximiná e realizaram demonstrações de comunicações via satélite. Desta forma foram então testados os sistemas APCO-25 da empresa *Motorola Solutions*, APCO-25 da empresa *TAIT – SGM*, e TETRA da empresa *Teltronic*.

A faixa de frequências foi fixada entre 380 e 470 MHz, para atender o que preconiza a resolução nº 557/2010 da Anatel sobre faixa de frequência da segurança pública.

Para as medições foram selecionados trinta pontos de aferição a partir das coordenadas de localização da torre situada junto à Delegacia de Polícia Civil de Oriximiná, latitude: 1,770416667 oeste e longitude: 55,859694444 sul. A torre utilizada é do tipo autoportante, com 80 metros de altura, base quadrada. Os pontos foram identificados da seguinte forma: LO – Leste/Oeste de 01 (um) a 07 (sete), com distância aproximada de 500 metros em linha reta entre um ponto e outro. NS de 01 (um) a 18 (dezoito) com a mesma distância aproximada entre um ponto e outro e os quatro últimos pontos com a identificação RS de 01(um) a 04 (quatro), referem-se a parte do teste com equipamentos em uma embarcação ao longo do rio Trombetas partindo de Oriximiná na direção sul.

As medidas foram realizadas em 25 pontos em terra na área urbana e arredores do município de Oriximiná, chegando ao limite de operação na área rural, onde não mais foi estabelecida comunicação. E 4 pontos ao longo do rio Trombetas, sentido município de Óbidos, direção sudeste, a bordo de uma embarcação, para verificar o funcionamento dos sistemas de radiocomunicação na presença de vegetação e no por ser esta a forma de locomoção típica e meio de transporte mais utilizado na região amazônica. Nesta etapa dos testes, buscou-se realizar

Os pontos de medições com identificação, coordenadas geográficas e distância da estação rádio base ERB, podem ser visualizados através da Tabela 7.

Tabela 7 – Pontos, elevação, coordenadas e distâncias medidas nos testes

ID	LATITUDE	LONGITUDE	DISTANCIA (Km)
BASE	1,770416667	55,859694444	
L01	1,773861111	55,857111111	0,479022522
L02	1,777305556	55,854000000	0,994364334
L03	1,778583333	55,852805556	1,188653384
L04	1,767166667	55,862972222	0,513513024
L05	1,763972222	55,865833333	0,990174972
L06	1,760777778	55,868694444	1,467119466
L07	1,758638889	55,870611111	1,786583456
NS1	1,760388889	55,862472222	1,157832276
NS2	1,757250000	55,859500000	1,465293609
NS3	1,754083333	55,856555556	1,850734605
NS4	1,750750000	55,853500000	2,294317647
NS5	1,747583333	55,850555556	2,736579125
NS6	1,744138889	55,847500000	3,223330262
NS7	1,740555556	55,844777778	3,713992297
NS8	1,737111111	55,842250000	4,183272662
NS9	1,733472222	55,839611111	4,678696314
NS10	1,729888889	55,837000000	5,168118134
NS11	1,726222222	55,834555556	5,657073519
NS12	1,722583333	55,831916667	6,154393739
NS13	1,718388889	55,830222222	6,65305477
NS14	1,714361111	55,830222222	7,046533773
NS15	1,710333333	55,826750000	7,624105149
NS16	1,701222222	55,809305556	9,523419308
NS17	1,679500000	55,791638889	12,63519319
NS18	1,668972222	55,780000000	14,35264502
RS01	1,744138889	55,855444444	2,962047396
RS02	1,805888889	55,839166667	4,559951302
RS03	1,816694444	55,827472222	6,27392126
RS04	1,843055556	55,795277778	10,80110559

Fonte: O autor

A Tabela 7 mostra os pontos definidos para teste nos programas de predição de cobertura que são os mesmos onde foram efetuadas as medições em campo. A Figura 42 mostra os pontos contidos na Tabela 7.

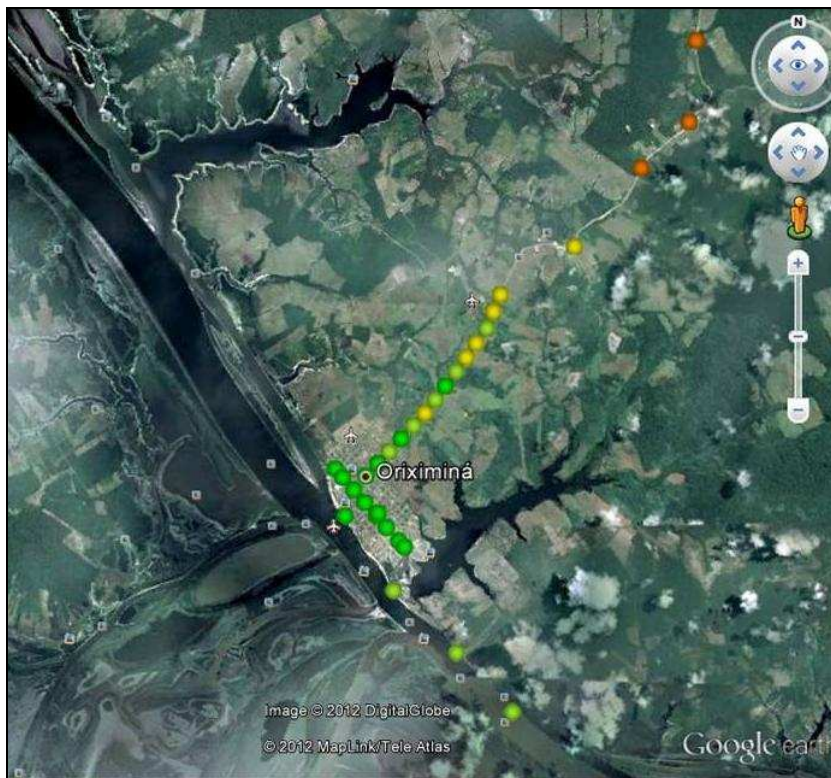


Figura 42, Pontos de teste em Oriximiná/PA  
Fonte: O autor

Da Figura 42, verifica-se que quatro pontos estão sobre o rio Trombetas, onde foram testados equipamentos dentro de uma embarcação em movimento. As demais medidas foram realizadas com rádios embarcados em veículo automotor.

#### 5.2.1 Equipamentos utilizados para medição

A Anatel utilizou um analisador de espectro marca *Agilent*, modelo N9340B, com uma antena log-periódica polarização vertical, conforme Figura 43.

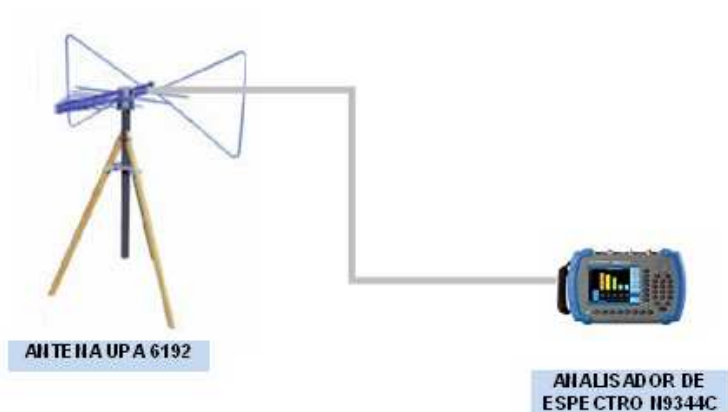


Figura 43, Esquema antena e analisador e espectro  
Fonte: O autor

Da Figura 43, destaca-se que a antena utilizada foi da marca *Schaffner Emc Systems*, modelo UPA6192. Foi utilizado também um receptor GPS, marca Garmin, modelo 76S, como apresentado na Figura 42.

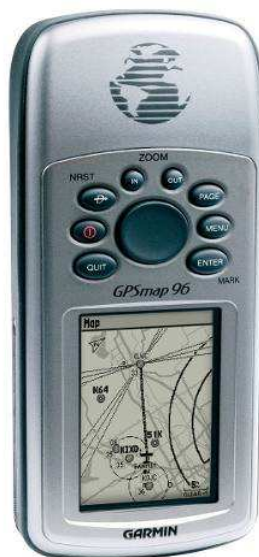


Figura 44, GPS Marca Garmin

Os equipamentos de rádio foram instalados em uma torre de 80 metros de altura, entretanto para padronização dos ensaios, foi utilizada a altura de 36 metros. A torre é mostrada na Figura 45.





Figura 45, Torre ERB Oriximiná

### 5.2.2 Equipamentos utilizados para comunicação

Os equipamentos de comunicação testados foram levados até o local, montados pelos representantes das respectivas marcas, ou seja: sistema 1 – APCO-25 (*TAIT*), sistema 2, APCO-25 (*Motorola*) e sistema 3 – TETRA (*Teltronic*). Desta foram são apresentados na Tabela 7, os rádios do sistema 1.

Tabela 8 – Equipamentos de comunicação – sistema 1

PADRÃO APCO-25 - Sistema 1		
Frequência TX	469,5625	MHz
Frequência RX	459,5625	MHz
Largura do Canal	12,5	kHz
Modulação	C4FM	
Potência TX Nominal	100	Watts
Potência TX Medida	70,35	Watts
Antena	3	dBi
Altura	36	m
Potência Móvel	45	Watts
Potência Medida	45	Watts
Potência Portátil	5	Watts
Potência Medida	3,98	Watts

Fonte: O autor

Verifica-se que no sistema 1, a frequência adotada foi próxima do limite de 470 MHz. Os equipamentos são marca Tait. O repedito é modelo TB9100, o terminal móvel é modelo TM9155 e o terminal portátil é o modelo TP9100. Nas Figuras 46, 47 e 48 são mostrados os equipamentos da marca Tait.

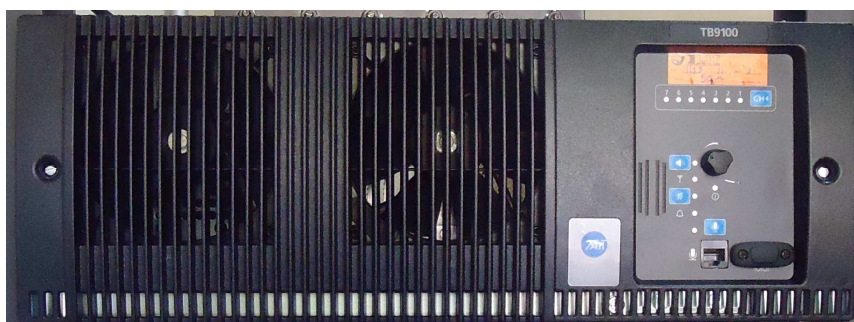


Figura 46, Repetidor *TAIT* modelo TB9100



Figura 47, Rádio móvel marca *TAIT*, modelo TM9155



Figura 48, Rádio portátil marca *TAIT* modelo TP9100

Na Tabela 9, são listados os equipamentos do sistema 2.

Tabela 9 – Equipamentos de comunicação – sistema 2

PADRÃO APCO-25 - Sistema 2		
Frequência TX	469,25	MHz
Frequência RX	459,25	MHz
Largura do Canal	12,5	KHz
Modulação	C4FM	
Potência TX Nominal	100	Watts
Potência TX Medida	77,42	Watts
Antena	8	dBi
Altura	36	m
Potência Portátil	5	Watts
Potência Medida	5	Watts

Fonte: O autor

Da Tabela 9, verifica-se que a frequência adotada foi próxima do limite de 470 MHz, onde ficou demonstrado que os representantes do padrão APCO-25 optaram por utilizar frequências próximas do limite superior estabelecido. Os equipamentos são da marca Motorola. O repetidor é modelo Quantar. O Terminal portátil é modelo XTS2250. Nas Figuras 49 e 50 são mostrados os equipamentos da marca Motorola.



Figura 49, Repetidor *Motorola* modelo Quantar



Figura 50, Rádio portátil *Motorola* modelo XTS 2250

A Tabela 10 contém a lista dos equipamentos do sistema 3, que operam no padrão TETRA.



Tabela 10 – Equipamentos de comunicação – sistema 3

PADRÃO TETRA - Sistema 3		
Frequência TX	396,075	MHz
Frequência RX	386,075	MHz
Largura do Canal	25	KHz
Modulação	$\pi/4$ -DQPSK	
Potência TX Nominal	10	Watts
Potência TX Medida	10,1	Watts
Antena	8	dBi
Altura	36	m
Potência Móvel	10	Watts
Potência Medida	10	Watts
Potência Portátil	3	Watts
Potência Medida	3	Watts

Fonte: O autor

Da Tabela 10, verifica-se que a modulação no sistema 3 é  $\pi/4$ -DQPSK, e a operação é troncalizada, diferente dos sistemas 1 e 2, onde a modulação é C4FM com operação convencional. Os equipamentos são marca Teltronic. O repetidor é modelo MBS, o terminal móvel é modelo MDT400 e o terminal portátil é modelo HTT500. As Figuras 51, 52 e 53, mostram os equipamentos da marca Teltronic.

Figura 51, Equipamento de Controle do Repetidor *Teltronic*, Modelo MBS



Figura 52, Rádio portátil *Teltronic* modelo HTT500



Figura 53, Vista frontal rádio móvel *Teltronic*, modelo MDT – 400

### 5.2.3 Resultados de campo

Após a conclusão dos testes, foram reunidos os dados medidos pela Anatel e pelas empresas participantes, as medições da Anatel são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados medidos em Oriximiná

Ponto	ID	Dist (km)	Sistema1	Sistema2	Sistema3
			Teltronic	Tait	Motorola
			Rx (dBm)	Rx (dBm)	Rx (dBm)
1	LO1	0,47807777	-27,95	-	-43,96
2	LO4	0,51412278	-34,15	-30,02	-30,95
3	LO5	0,98922625	-49,44	-47,87	-48,18
4	LO2	0,99417402	-46,50	-	-48,64
5	NS1	1,15841728	-54,33	-48,12	-43,99
6	LO3	1,18905524	-51,06	-56,14	-47,08
7	NS2	1,46576814	-64,96	-62,01	-56,77
8	LO6	1,46626364	-49,29	-45,25	-40,77
9	LO7	1,78504147	-57,59	-55,61	-51,07
10	NS3	1,84892045	-75,96	-73,23	-68,46
11	NS4	2,29222921	-77,02	-62,19	-58,25
12	NS5	2,73565247	-77,11	-69,08	-63,38
13	NS6	3,22161307	-75,01	-65,57	-63,96
14	NS7	3,71001961	-73,03	-65,20	-63,08
15	NS8	4,18161003	-66,29	-62,45	-58,33
16	NS9	4,67586731	-76,31	-66,71	-63,00
17	NS10	5,16499122	-83,72	-83,84	-87,10
18	NS11	5,66041233	-77,76	-73,51	-71,13
19	NS12	6,15095625	-70,05	-69,51	-63,78
20	NS13	6,64805740	-78,50	-75,84	-70,51
21	NS14	7,12381190	-84,93	-79,30	-77,12
22	NS15	7,90685522	-80,89	-71,33	-71,49
23	NS16	9,55689912	-89,34	-81,18	-83,25
24	NS17	12,55800206	-96,03	-90,67	-90,57
25	NS18	14,34040190	-99,00	-99,47	-97,01
26	RS01	2,22251495	-63,31	-64,24	-64,97
27	RS02	4,55578476	-72,10	-75,26	-74,66
28	RS03	6,26723868	-73,16	-	-72,53
29	RS04	10,79323707	-93,61	-93,87	-80,67

Fonte: O autor

Da Tabela 11, verifica-se que no ponto NS18, distante mais de 14 km da ERB o nível de potência recebida nos 3 sistemas foi inferior a -95 dBm, o que representou problemas na recepção de voz. A Figura 54 mostra os níveis de potência recebida segundo as medições das empresas.

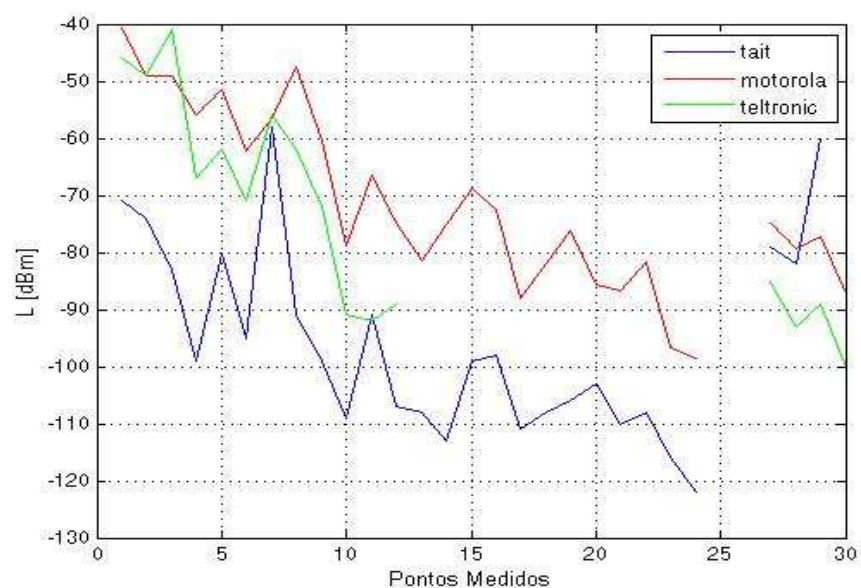


Figura 54, Medidas apresentadas pelas empresas

Fonte: O autor

Da Figura 54, verifica-se uma descontinuidade no sistema TETRA – *Teltronic*, isto deve-se ao fato de que esta empresa não apresentou as medidas neste pontos. A Figura 55 mostra os níveis de potência recebida segundo as medições da Anatel.

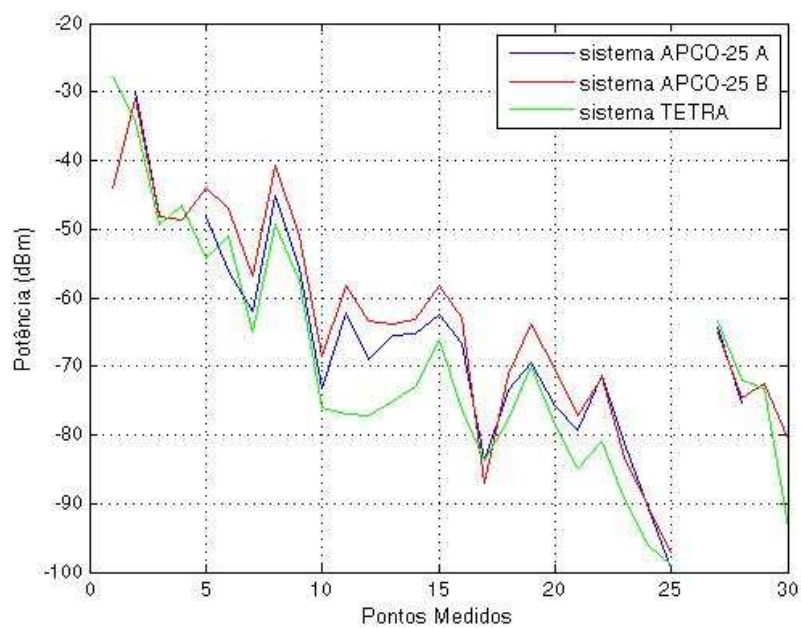


Figura 55, Medidas apresentadas pela Anatel

Fonte: O autor



Na Figura 55, é perceptível uma coesão nos gráficos, o que demonstra coerências nos dados medidos pela Anatel, considerando ainda que os três sistemas foram medidos nos mesmos equipamentos, o que permite as comparações.

### 5.3 PREDIÇÃO DE COBERTURA

Para realização da predição de cobertura, utilizamos os *softwares*, *Rádio Móbile* e *Celplanner*, que foram apresentados no capítulo 3. O objetivo foi observar o desempenho de ambos os sistemas e o grau de aproximação com as medidas realizadas durante os testes.

As primeiras predições foram desenvolvidas utilizando-se o software *Radiomóbile*, já citado anteriormente. Na segunda geração de predições utilizou-se o *Celplanner*. A partir da base de dados da cidade de Oriximiná/PA, e da configuração do sistema para os dois padrões testados ou seja o TETRA e o APCO-25, foi possível realizar a predição de cobertura e conseqüentemente comparar os resultados dos *softwares* *Radiomóbile* e *Celplanner*, e então realizar as predições com o algoritmo desenvolvido para finalmente testar sua eficiência e validar seu desempenho. A Figura 56 mostra os pontos testados numa imagem gerada com o *Rádio Móbile*.

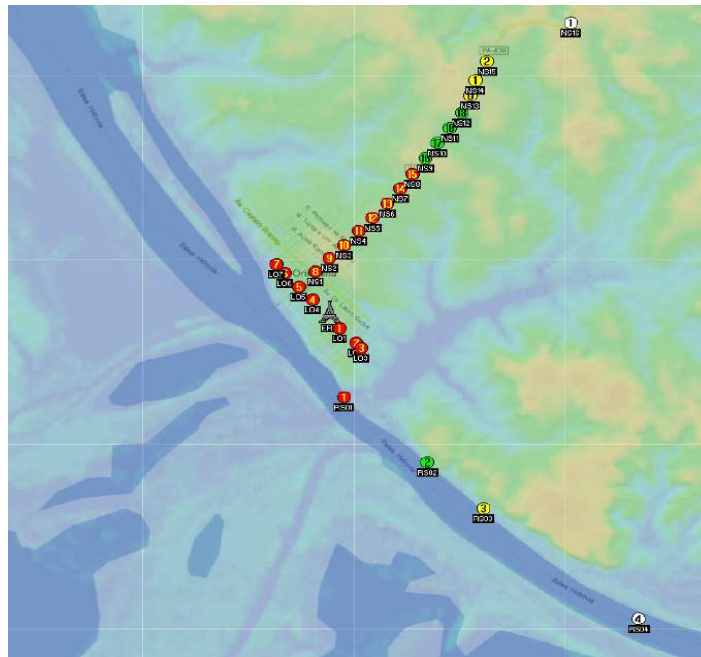


Figura 56, Pontos do teste no software *Radio Móvel*  
 Fonte: O autor

As previsões de cobertura para os sistemas APCO-25 e TETRA obtidas com o *Celplanner* são apresentadas nas Figuras 57 e 58, respectivamente.

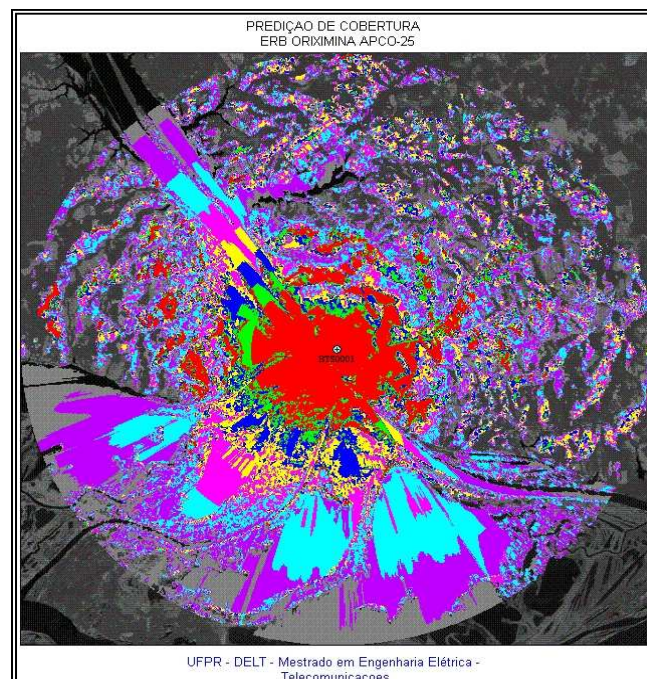


Figura 57, Cobertura de Oriximiná em APCO-25  
 Fonte: O autor

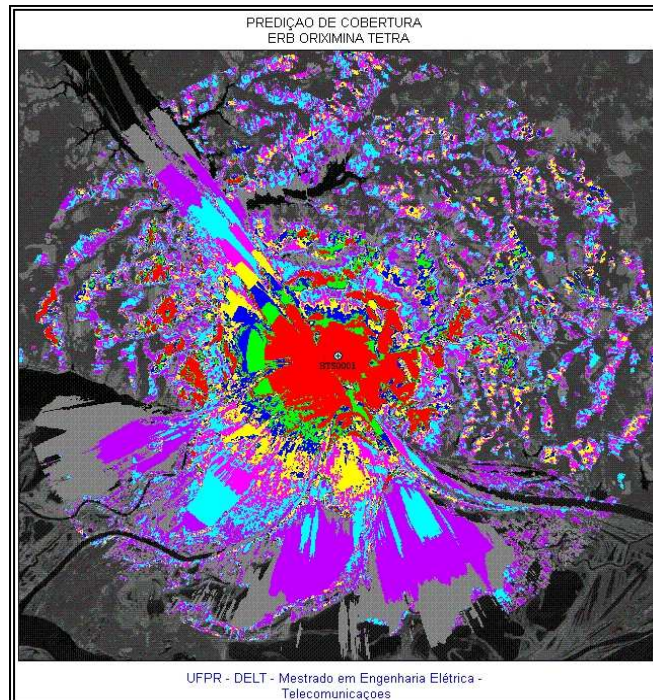


Figura 58, Cobertura de Oriximiná em TETRA  
Fonte: O autor

Das Figuras 57 e 58, verifica-se o nível de sinal apresentado no *Celplanner*, onde cada cor representa um determinado nível de potência recebida em dBm, como mostrado.

COR	Nível Sinal
Vermelho	-80 dBm
Verde	-85 dBm
Azul	-90 dBm
Amarelo	-95 dBm
Rosa	-100 dBm
Azul Claro	-105 dBm
Roxo	-110 dBm
Preto	-115 dBm

Considerando que a região centralizada mostrada na cor vermelha das Figuras 55 e 56 correspondem ao nível igual ou melhor do que -80 dBm.

Os gráficos de cobertura obtidos no algoritmo para os sistemas APCO-25 e TETRA são mostrados nas Figuras 59 e 60, respectivamente

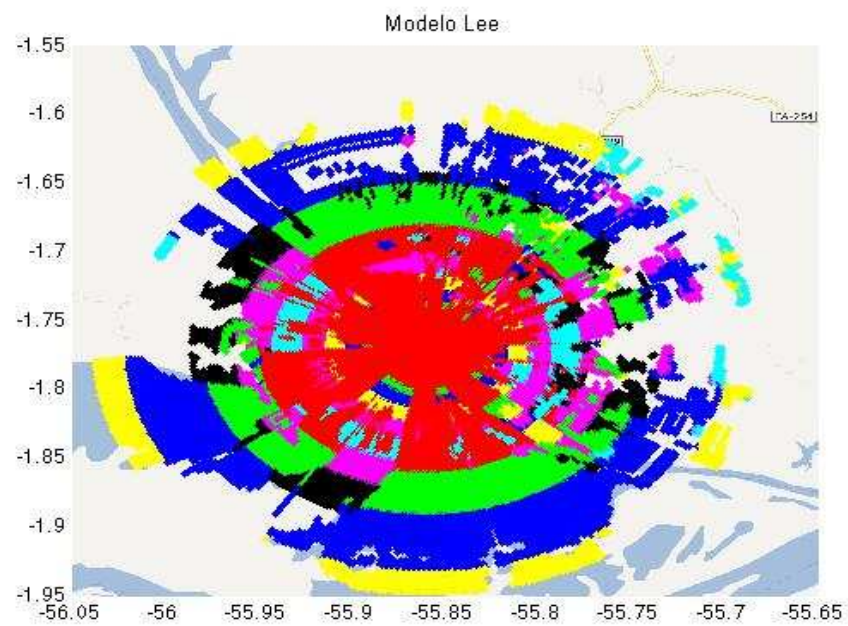


Figura 59, Predição de cobertura APCO-25 no algoritmo  
Fonte: O autor

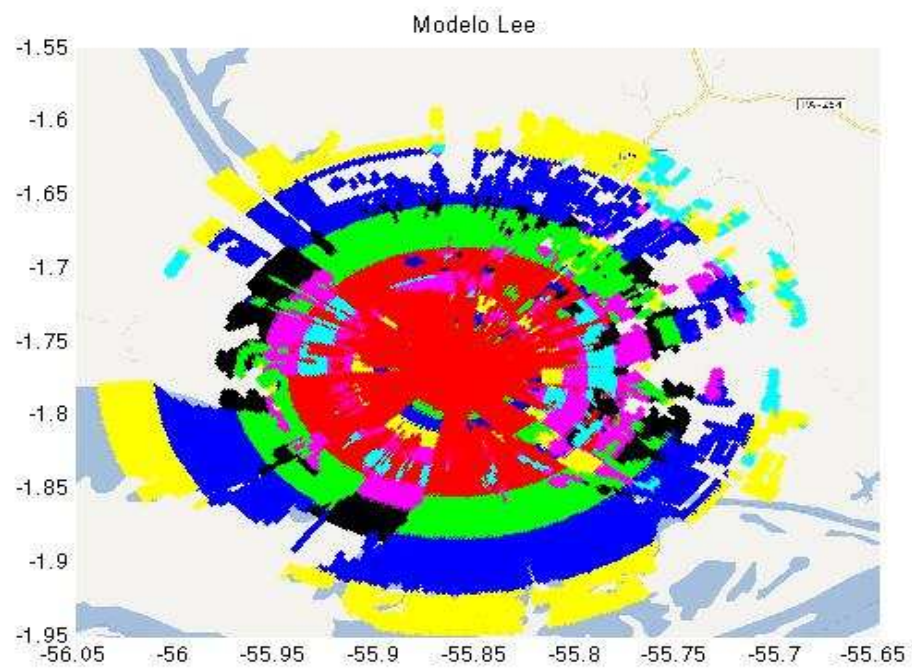


Figura 60, Predição de cobertura TETRA no algoritmo  
Fonte: O autor



## 5.4 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS

Inicialmente na comparação entre os sistemas verificou-se que o nível de sinal no ponto NS16, distante 9,55 km da ERB, que a diferença de potência de transmissão entre os sistemas APCO-25 e TETRA, os quais foram de 100W e 10W respectivamente. Que os níveis medidos na saída dos equipamentos Motorola e Tait foram 77,42 W e 70,35W, respectivamente. O nível medido na saída do equipamento Teltronic foi 10,1W. As potências dos transmissores em dBm foram de 48,89 dBm para o sistema Motorola, 48,47 dBm para o sistema Tait e 40,04 dBm para o sistema Teltronic.

Ao ser realizada a comparação entre medidas da Anatel, simulações no *Radio Móvil*, no *Celplanner* e no algoritmo, foram obtidos os resultados apresentados nas Figuras 61, 62e 63.

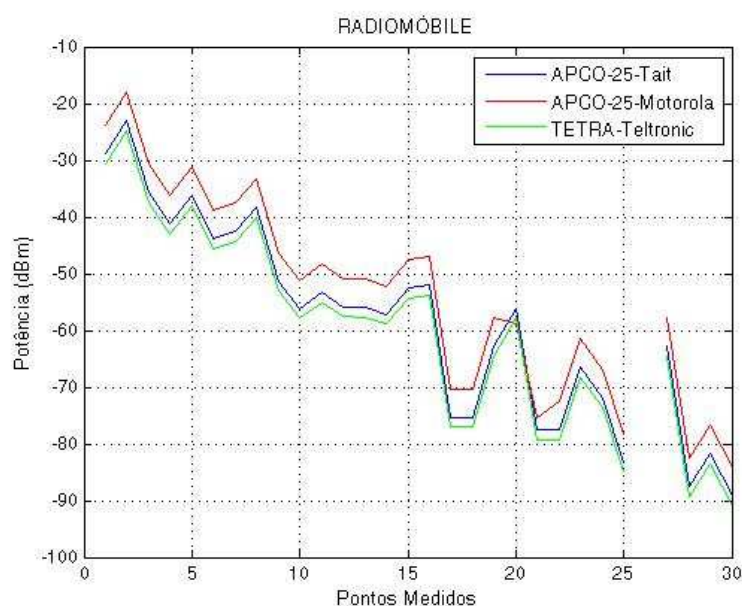


Figura 61, Comparação 3 sistemas no *Rádio Móvil*  
Fonte: O autor

Da Figura 61, verifica-se que os três sistemas apresentam curvas de decaimento com tendências similares, entretanto no *Rádio Móvil*, o desempenho do sistema APCO-25 Tait mostrou-se próximo do resultado alcançado pelo TETRA Teltronic. Na Figura 62 são apresentados os resultados dos três sistemas com o *Celplanner*.

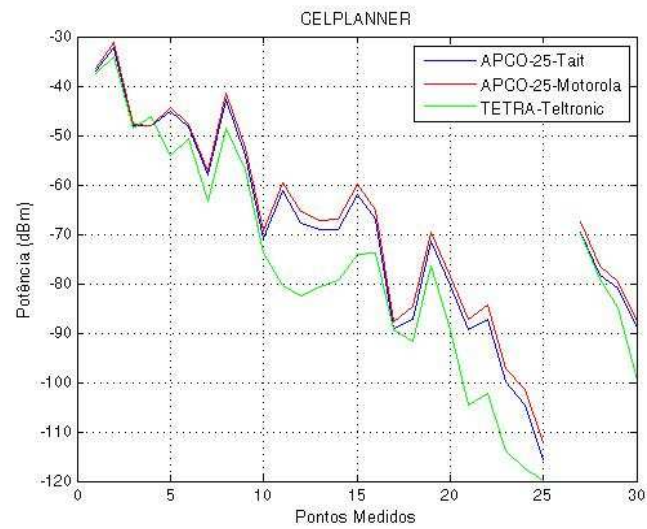


Figura 62, Comparação 3 sistemas no *Celplanner*  
Fonte: O autor

Verifica-se na Figura 62, que no sistema TETRA o decaimento foi mais acentuado entre os pontos 10 a 15 e 20 a 25, do que nos sistemas APCO-25. A Figura 63 mostra os níveis de sinal calculados com o algoritmo.

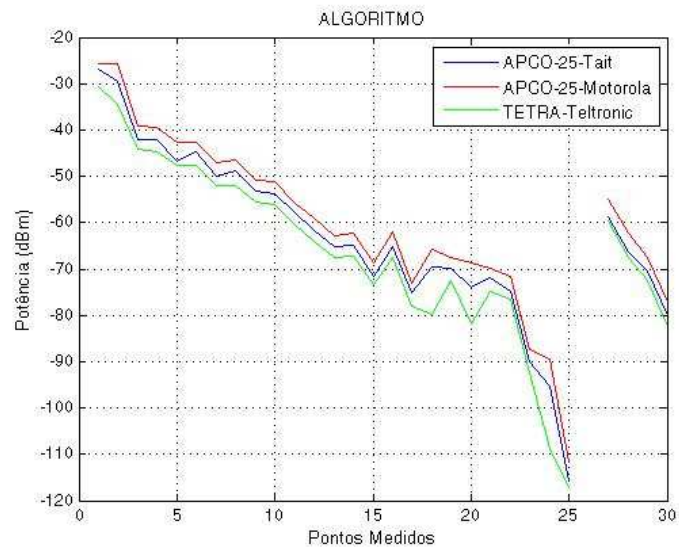


Figura 63, Comparação 3 sistemas no Algoritmo  
Fonte: O autor

Outra forma de verificação dos resultados pode ser observada através de gráficos do mesmo sistema nos diferentes *softwares* e nas medidas realizadas. A Figura 64 mostra as curvas do sistema APCO-25 Motorola no algoritmo, *Rádio Móvel*, *Celplanner*, e dados medidos.

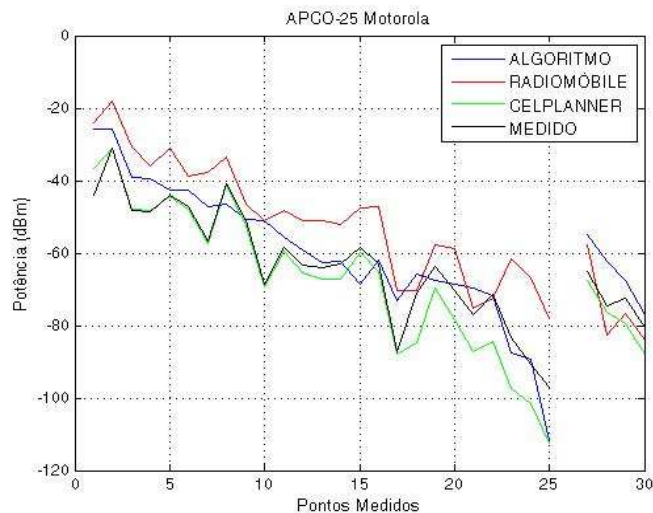


Figura 64, Comparação resultados APCO-25 Motorola  
Fonte: O autor

Da Figura 64, depreende-se que o *Radio Móvel* apresenta um resultado mais otimista em relação ao que foi medido. O *Celplanner* mostra dados mais próximos às medidas e o algoritmo apresenta-se como uma linha intermediária, porém mais próxima da realidade do que o *Rádio Móvel*. A Figura 65 mostra os resultados do sistema APCO-25 Tait.

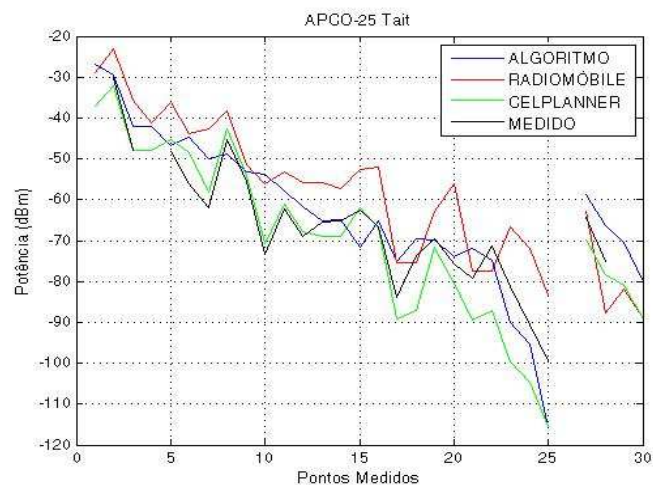


Figura 65, Comparação resultados APCO-25 Tait  
Fonte: O autor

Da Figura 65, verifica-se a mesma tendência do algoritmo apresentar resultado intermediário em relação aos demais. Na Figura 66, têm-se os gráficos do sistema TETRA.

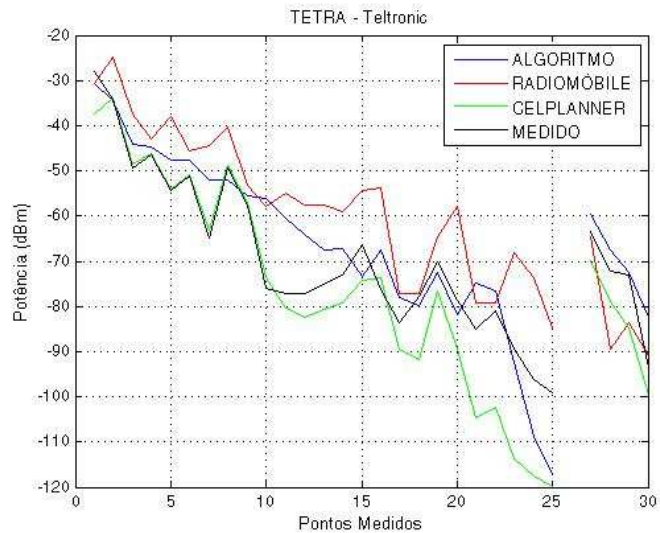


Figura 66, Comparação resultados TETRA-Teltronic  
Fonte: O autor

Da Figura 66, verifica-se que o algoritmo mostrou resultado mais próximo nos últimos pontos (ao longo do rio Trombetas), do que o *Rádio Móvel* ou o *Celplanner*.

Para validar o algoritmo desenvolvido foi utilizado o teste de aderência chi-quadrado, este recurso consiste num teste não paramétrico de hipóteses para avaliar a dispersão entre variáveis qualitativas [42]. O cálculo do teste chi-quadrado é apresentado na equação 5.1:

$$\chi^2 = \sum \left[ \left( \frac{v_o - v_e}{v_e} \right)^2 \right] \quad (5.1)$$

Onde:

$\chi^2$  = representa o valor do teste chi-quadrado;

$v_o$  = representa o valor observado;

$v_e$  = representa o valor esperado.



Os dados resultantes são apresentados na Tabela 12, onde são verificados os testes chi-quadrado dos sistemas Tetra-Teltronic, APCO-25 Tait e APCO-25 Motorola, com os programas *Radiomóvil*, *Celplanner* e o Algoritmo desenvolvido.

Tabela 12 – Teste Chi-quadrado dos programas

Programa	Sistema	$\chi^2$
Algoritmo	Teltronic	-27,5174
	Tait	-22,7863
	Motorola	-21,9644
Radiomóvil	Teltronic	-73,8828
	Tait	-51,5573
	Motorola	-67,3131
Celplanner	Teltronic	-35,4665
	Tait	-20,2467
	Motorola	-15,2057

Fonte: O autor

Da Tabela 12, verifica-se que no programa *Radiomóvil* os valores são maiores o que indica maior afastamento das medidas reais. No programa *Celplanner* os resultados foram mais próximos dos medidos, principalmente nos sistemas APCO-25 da Tait e da Motorola. O algoritmo apresentou resultados mais próximos das medidas reais que o *Radiomóvil*, e os valores de dispersão tiveram variação menor que do *Celplanner* para os três sistemas testados.

Outro teste de aderência utilizado é o gráfico quantil-quantil-plot ou QQplot. Trata-se de um recurso estatístico para verificação de dois conjuntos de dados pertencem ao mesmo tipo de distribuição de probabilidades. Os resultados são apresentados como pontos alinhados numa linha reta. Nas figuras 67, 68 e 69, são mostrados os gráficos QQplot, onde são comparados os três sistemas APCO-25 Tait, APCO-25 Motorola e TETRA-Teltronic, nos três programas (*Radiomóvil*, *Celplanner* e Algoritmo). A linha reta refere-se ao conjunto de medidas realizadas em campo.

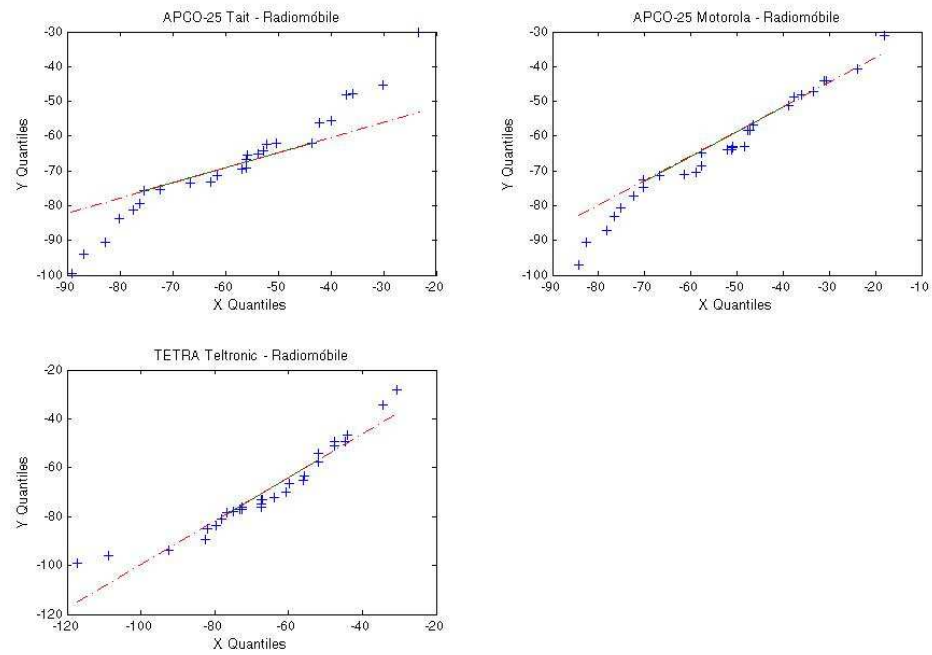


Figura 67, QQplot dos três sistemas no Radiomobile

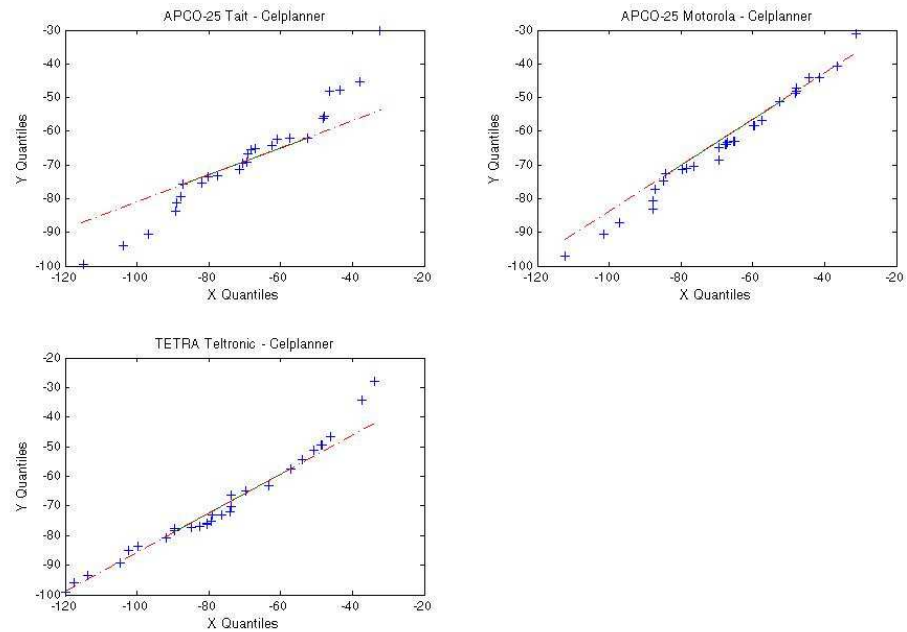


Figura 68, QQplot dos três sistemas no Celplanner

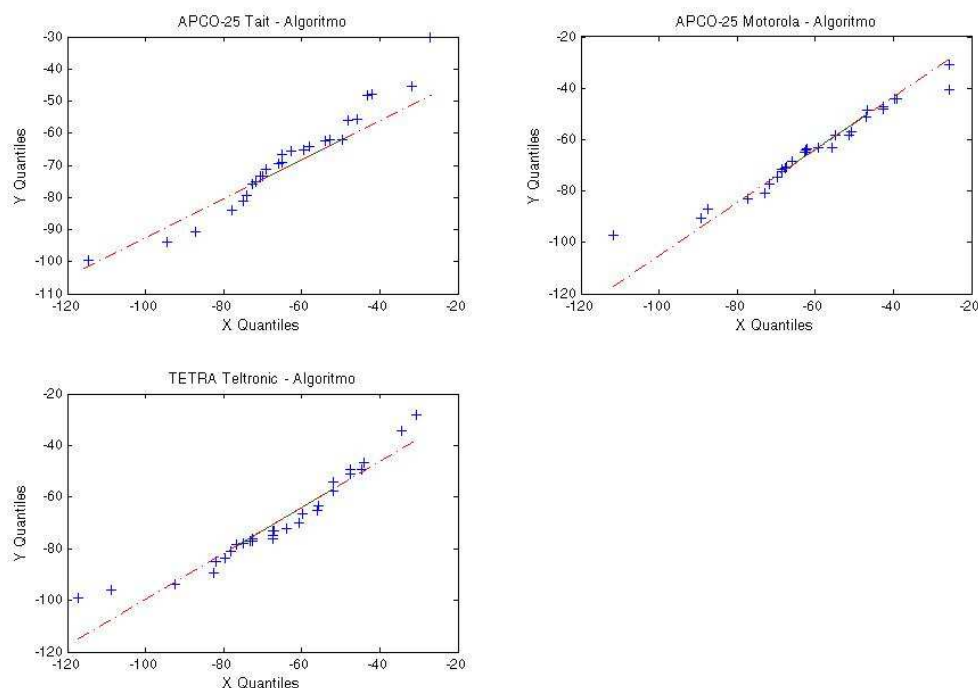


Figura 69, QQplot dos três sistemas no Algoritmo

A Figura 67 mostra que no programa Radiomóvil, o sistema TETRA teve resultados mais próximos das medidas, enquanto os sistemas APCO-25 tiveram seus resultados mais afastados, sendo o APCO-25-Tais o de maior diferença. A Figura 68 mostra os gráficos QQplot no programa Celplanner, onde as divergências são menores, tendo os resultados dos sistemas APCO-25 mais próximos das medidas. Por outro lado a Figura 69 mostra que no algoritmo, os três sistemas oscilaram em torno do valor medido, ou seja os resultados em média são os mais próximos dos valores medidos.

A Figura 70 apresenta o percentual de cobertura calculado no algoritmo do sistema APCO-25 Tait.

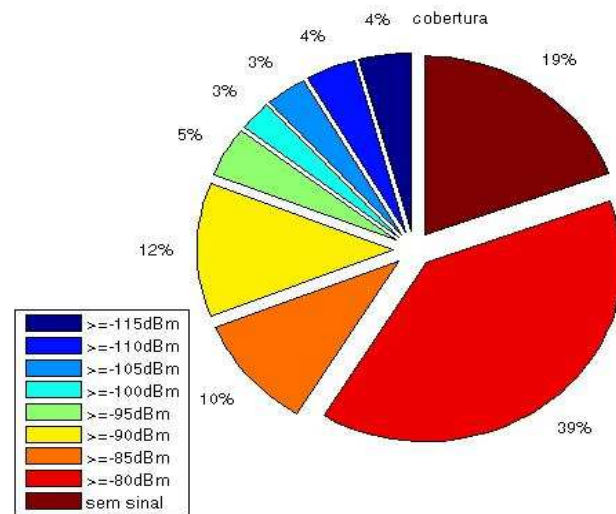


Figura 70, Percentual de cobertura APCO-25 TAIT no algoritmo  
Fonte: O autor

Da Figura 70, observa-se que 39% possui melhor nível de cobertura e 19% não tem sinal. A Figura 71 mostra o percentual de cobertura do sistema TETRA- Teltronic.

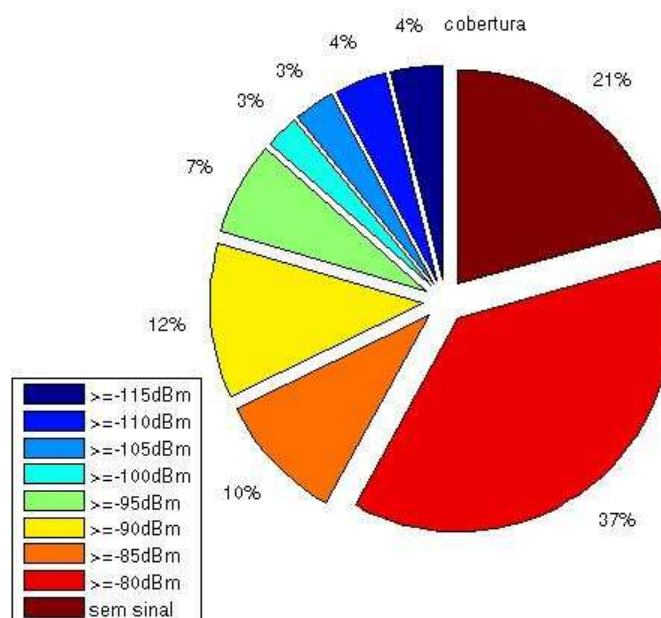


Figura 71, Percentual de cobertura TETRA Teltronic no algoritmo  
Fonte: O autor

Da Figura 71, verifica que o percentual de melhor cobertura ficou em 37% e 21% foi o total sem sinal. Comparando-se os dois sistemas, percebeu-se que o sistema APCO-25 mostrou alcance de cobertura superior ao sistema TETRA, entretanto não pode ser desconsiderado que foi configura com nível superior de potência. A análise dos resultados permite concluir que ambos os sistemas obedecem às equações de radiopropagação baseados na fórmula de Friis. Desta forma compreende que entre estes dois sistemas, se estiverem operando na mesma frequência e com a mesma potência, o resultado em termos de cobertura será idêntico.

## CONCLUSÃO

Após a compreensão dos princípios do eletromagnetismo aplicada à propagação de sinais radioelétricos é que tornou-se possível implantar as equações necessárias num algoritmo. Primeiramente foi testado para condições de atenuação no espaço livre. Na sequência do trabalho buscou-se adequação para os modelos Okumuta-Hata e Modelo Lee.

De posse dos pontos determinados para realização dos testes e medições reais, passou-se a configurar os programas *Radio Móbile* e *Celplanner* com características dos sistemas APCO-25 e TETRA. O objetivo foi verificar os resultados simulados dos sistemas de radiocomunicação usados em segurança pública através destes *softwares*.

A estruturação do algoritmo deu-se após a escolha do Modelo Lee para estudo de propagação utilizado no programa *Celplanner*, desta forma foi inserido no Matlab para implantação e testes do algoritmo.

A partir das medições realizadas em Oriximina/PA, foi possível comparar os dados medidos com dados simulados e analisar o desempenho dos programas testados, bem como validar o algoritmo proposto.

Acerca dos testes, cabe ressaltar que as empresas que representaram o sistema APCO-25, apresentaram seus equipamentos operando em modo convencional com repetidores configurados em 100W. O sistema TETRA foi configurado com 10W, tendo este sistema operado em modo troncalizado, característica nativa deste padrão. Cabe ainda considerar que a empresa *EADS Cassidian* não participou dos testes, por este motivo o padrão TETRAPOL não pode ser avaliado nessa ocasião. Os sistemas APCO-25 e TETRA tiveram um desempenho satisfatório sob o aspecto cobertura. Apesar de que representantes do padrão APCO-25 não atenderam plenamente ao solicitado para os testes no que se refere à potência irradiada, este fator não invalidou os testes, nem tampouco prejudicou a análise dos resultados. Ao contrário permitiu coleta de dados para desenvolvimento do algoritmo proposto nesta dissertação. A empresa Teltronic que representou o sistema TETRA cumpriu todos os requisitos solicitados para o teste, o que permitiu analisar o desempenho do sistema TETRA. Aspectos como taxas de transmissão de dados, sincronismo entre os terminais e a ERB, capacidade de

comutações simultâneas não foram testados devido às limitações impostas pelas condições do local escolhido, quanto ao acesso e custo de transporte de equipamentos e materiais para região de difícil acesso na floresta amazônica.

Por fim compete ainda à SENASP buscar um padrão que seja mais facilmente ajustado a novas tecnologias como 4G, seja através do LTE ou outro protocolo, afim de que o sistema em tela não entre em obsolescência ainda na etapa de implantação. Desta forma apesar de ser considerado tardio, o sistema de segurança brasileiro passará a contar com uma plataforma moderna de radiocomunicação digital, com características e funcionalidades mínimas de transmissão de voz e dados, e ainda com estrutura que permita fácil migração ou integração de tecnologias de quarta geração.

Para isso o algoritmo implantado apresenta-se como uma alternativa para predição e análise de cobertura por órgãos de segurança pública. Este algoritmo pode ainda ser utilizado como recurso auxiliar no processo ensino-aprendizagem no ambiente acadêmico, e tornar-se base para desenvolvimentos posteriores com a inserção de outras faixas de frequência, análise de tipos de serviço, ou seja pode-se evoluir esta plataforma como base para aplicações profissionais.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em uma das reuniões realizadas no encontro do ENAFRON e GT-Comunicações na distante cidade de Oriximiná, no Pará, pode ser observada a discussão entre os participantes sobre a adoção de um padrão ou sistema de radiocomunicação específico ou talvez enfrentar a árdua tarefa de desenvolver um modelo próprio para atendimento desta demanda.

O presente trabalho tratou da análise dos dados dos testes de radiopropagação realizados por solicitação do Ministério da Justiça – SENASP, entretanto restou a questão se nosso país possui capacidade e competência para desenvolver tecnologia e neste caso em particular para uso específico das forças armadas e forças policiais. Por outro lado, se nos resta apenas a adoção de um sistema estrangeiro desenvolvido para

atender a realidade de outros países e sobrando aos engenheiros brasileiros a proteção da comunicação, e que talvez até mesmo esta tarefa não seja plenamente alcançada.

## **CONTRIBUIÇÕES**

Este trabalho além da análise dos sistemas que foram colocados em teste, permitiu a utilização dos resultados, seja para os órgãos policiais, para a SENASP, ou qualquer outro participante do grupo de trabalho. Ainda possibilitou a livre consulta do material pesquisado, informações sobre o cenário em questão e os resultados obtidos, uma vez que o material é de domínio público e não possui nenhuma classificação sigilosa. Desta forma compõe uma fonte aberta para novos trabalhos correlatos, considerando-se inclusive a necessidade de dados sobre este tema para as instituições policiais, no gerenciamento, expansão ou novos projetos de redes de radiocomunicação.

Outro aspecto positivo da pesquisa foi o desenvolvimento de um algoritmo que permite realizar predição de cobertura. Pode ser utilizado tanto pelas polícias como no ambiente acadêmico por universidades, sendo possível ainda a adaptação para outros tipos de radiopropagação como as redes GSM, redes 3G, redes 4G, LTE, TV Digital ou quaisquer outras tecnologias de comunicação sem fio que venham a surgir. Traduz-se assim num algoritmo pequeno, mas com potencial para muitas aplicações e sem custo, sendo esta última característica, algo relevante como produção da universidade pública no que se refere à pesquisa e extensão.

## **PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

O algoritmo desenvolvido durante este trabalho atende uma faixa de frequência limitada de 30 a 800 MHz, utiliza o modelo de Lee para propagação, e tem capacidade de predição de uma única ERB por vez. Como sugestão de continuidade poderia ser



expandida a faixa de frequências e inserida a condição de trabalho com maior quantidade de ERBs, e ainda implantação com outros serviços como as redes GSM, 3G, 4G LTE, TV Digital, e serviços SCM em geral.

Outra hipótese com relação a pesquisa de radiocomunicação de uso policial e/ou de defesa seria o desenvolvimento de trabalho sobre radio definido por *software* – SDR, uma vez que existem trabalhos externos e no Brasil o exército possui um linha de pesquisa nessa área devido a possibilidade de utilização de plataformas diferentes sendo programadas e configuradas apenas por *software*. Poderia ser esta uma alternativa plausível para a integração dos diversos órgãos de segurança e defesa nos mais de 16 mil quilômetros de fronteira com outros países.

A idéia de desenvolvimento de um protocolo próprio poderia ser uma opção de trabalhos futuros, considerando-se neste caso que a extensão e complexidade da pesquisa extrapolariam uma única dissertação de mestrado e certamente exigiria um financiamento consistente para suporte adequado.

## REFERÊNCIAS GERAL

### Capítulo 1

[1] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei Geral das Telecomunicações**. Casa Civil – Lei nº 9.472 de 16 de julho de 1997.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **PADDFFB – Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil**. Brasília, Conselho Diretor da Anatel - Ato nº 2099 de 14 de abril de 2012.

[3] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **PNBL Programa Nacional de Banda Larga**. Casa Civil – Decreto nº 7.175 de 12 de maio de 2010.

[4] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Resolução nº 557**. Brasília, Conselho Diretor da Anatel – 20 de dezembro de 2010.

[5] APCO – **Padrão APCO-25** - Disponível em: <<http://www.apco911.org/>>. Acesso em junho de 2012.

[6] TETRA – **Padrão TETRA** - Disponível em: <<http://mundotetra.com>>. Acesso em: junho 2012.

[7] TETRAPOL – **Padrão TETRAPOL** - Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtetrapol/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtetrapol/pagina_1.asp)>. Acesso em: maio 2012.

[8] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Normas para licitações e contratos da administração pública**. Casa Civil – Lei nº 8.666 de 21 de junho de 1993.

[9] TORRES do Amaral, Cristiano. **Interoperabilidade nos Padrões de Rádio Troncalizado Digital**. Belo Horizonte, Universidade Federal Fluminense, 2006 – Centro de Estudos de Pessoal – Exército Brasileiro, Belo Horizonte, 2006.

[10] UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Teses, dissertações, monografias e trabalhos acadêmicos**. Curitiba: Editora UFPR, 2000. (Normas para apresentação de documentos científicos,2).

### Capítulo 2

[11] PEREIRA, M. A. B. **Análise de Modelos de Propagação na Área Urbana da Região de Curitiba - PR na Faixa de Frequência de 1800 MHz**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Agosto 2007.

- [12] Wikipédia. **Fresnel Zone**, Disponível em:<  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel\\_zone](http://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_zone)>. Acesso em julho de 2013.
- [13] FRIEDMAN, Raul M. P - Fundamentos **de Orientação, Cartografia e Navegação Terrestre** – Editora UTFPR – 3ª Edição – Revista e Atualizada – Curitiba-PR, 2009.
- [14] CAVALCANTE, Gustavo Araújo. **Otimização de Modelos de Predição da Perda de Propagação aplicáveis em 3,5GHz utilizando algoritmos genéticos**. 73 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- [15] PATRIOTA, Guilherme Ditzel. **Modelo de Propagação Outdoor para região urbana densa na Cidade de Curitiba**. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Agosto 2011.
- [16] CASTILHO, Sérgio Duque. **Ferramenta de Simulação Computacional de Canal de Propagação em Ambientes Celulares baseado em modelos geométricos estatísticos**. 121 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- [17] SILVA, Guilherme de Magalhães Ottoni da. **Desenvolvimento de Algoritmo para Predição de Cobertura de Bloqueio de Radio-Frequencia em HF/VHF/UHF/** 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2009.
- [18] A.G.HUFFORD *A Guide to the use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode*. Washington, NTIA, 1982. Disponível em:<  
<http://www.its.bldrdoc.gov/publications/2091.aspx>>. Acesso em julho de 2013.
- [19] TORRES do Amaral, Cristiano. **Uma Análise do Modelo de Propagação Longley-Rice sob a perspectiva de Ambientes Urbanos Localizados em Área de Clima Tropical**, 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dezembro 2012.
- [20] Frente de onda - **Princípio de Huygens**. Disponível em:<  
<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/principiodehuygens.php>>. Acesso em agosto de 2013.

### Capítulo 3

- [21] FRIEDMAN, Raul M. P - Fundamentos **de Orientação, Cartografia e Navegação Terrestre** – Editora UTFPR – 3ª Edição – Revista e Atualizada – Curitiba-PR, 2009.

[22] SILVA, Guilherme de Magalhães Ottoni da. **Desenvolvimento de Algoritmo para Predição de Cobertura de Bloqueio de Radio-Frequencia em HF/VHF/UHF/** 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2009.

[23] RAMALHO, Guilherme Rosse, **Uma Ferramenta de Predição e Avaliação de Cobertura para Sistemas de Comunicação Ponto-Área** 154f. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL – Santa Rita do Sapucaí, 2006.

[24] Mapas cobertura GSM/3G/4G – Claro. Disponível em: < <http://corp.maplink.com.br/homologacao/ClaroAreaCobertura/>>. Acesso em julho de 2013.

[25] SRTM, **Shuttle Radar Topography Mission**, disponível em < <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>, acesso em abril de 2013.

[26] RADIO MÓBILE, **Software de Predição de Cobertura**, disponível em < <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>>, acesso em junho de 2012.

[27] CELPLANNER. Celplan: – Celplan wireless global Technologies - **Descrição do Software** – Dezembro de 2012, disponível em: <[http://www.celplan.com.br/uploads/files/celplan/02produtoseseservicos/02ferramentadesoftware/01\\_celplanner.pdf](http://www.celplan.com.br/uploads/files/celplan/02produtoseseservicos/02ferramentadesoftware/01_celplanner.pdf)>, acesso em dezembro de 2012.

[28] Google Earth – Aplicativo de visualização 3D da Terra. Disponível em <<http://www.earth.google.com.br>>. Acesso em outubro de 2012.

[29] Mapas TIM 2G/3G/4G. Disponível em: <<http://qualidade.tim.com.br/?gclid=CP7imvaJ0LkCFadi7AodoDcA3A>>. Acesso em setembro de 2013.

[30] ALVES, Augusto, **Mapeamento do posicionamento geográfico de estações rádio base do serviço móvel celular utilizando sensoriamento remoto**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4039. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0333.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

## Capítulo 4

[31] MATLAB, Mathworks - **plot\_google\_map**, by Zohar Bar-Yehuda, disponível em: <<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27627-plotgooglemap>>, Acesso em janeiro de 2013.

[32] GILAT, Amós, Subramanian, Vish. **Métodos Numéricos para Engenheiros e Cientistas** – Departamento de Engenharia Mecânica – The Ohio State University, 2008. 480p. Editora Bookman, 2008.

[33] Google Maps API's – **Guia do Desenvolvedor da API do Google Static Maps v2** – disponível em: <https://developers.google.com/maps/documentation/staticmaps/?hl=pt-br>, acesso em outubro de 2012.

[34] SRTM, **Shuttle Radar Topography Mission**, arquivos de topografia. Disponível em <[http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/South\\_America/](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/South_America/)>. Acesso em abril de 2013.

[35] Flávio de Melo, Leonimer. **Ferramenta de Ensino de Engenharia de Tráfego Telefônico a Distância Através da Web**, Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v.33, n. 2, p. 229-242, jul./dez. 2012. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/11785>>. Acesso em setembro de 2013.

[36] Miguel Meireles Teixeira, Hugo. **Móble Trails: Aplicação Móvel com Localização Geográfica**. Mestrado em Redes de Comunicação, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, outubro de 2009. Disponível em <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/570037/1/Dissertacao.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

[37] Marinho Alex K. Melo. **Adaptação do Modelo de Tamir para Predição de Cobertura de Sistemas HF/VHF em Florestas Usando Bases Digitais de Terreno**. XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT 2011, 02-05 de outubro de 2011, Curitiba, PR. Disponível em <[http://www.dee.ufma.br/~fsouza/Anais\\_SBrT\\_2011/papers/completos/85304.pdf](http://www.dee.ufma.br/~fsouza/Anais_SBrT_2011/papers/completos/85304.pdf)>. Acesso em maio de 2013.

## Capítulo 5

[38] Gilberto P. Ferreira. **Redes Neurais Artificiais Aplicadas na Predição de Cobertura de Sinal Rádio VHF em Terreno Acidentado**. XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT 12, 13-16 de setembro de 2012, Brasília – DF. Disponível em <[http://sbrt.org.br/sbrt2012/publicacoes/97991\\_1.pdf](http://sbrt.org.br/sbrt2012/publicacoes/97991_1.pdf)>. Acesso em junho de 2013.

[39] Daniels Electronics “**P25 Radio Systems Training Guide**”, Disponível em: [http://www.danelec.com/library/english/p25\\_training\\_guide.asp](http://www.danelec.com/library/english/p25_training_guide.asp). Acesso em setembro de 2012.

[40] Explore\_Capabilities. **TETRAPOL – Especificações Técnicas**. Disponível em: <[http://www.tetrapol.com/UserFiles/tetrapol/File/pdf/19080912205531376\\_tetrapol-features-and-functionality.pdf](http://www.tetrapol.com/UserFiles/tetrapol/File/pdf/19080912205531376_tetrapol-features-and-functionality.pdf)>. Acesso em setembro de 2012.

[41] Marijan Miculić, Borivoj Modilic, “**General System Architecture of Tetra Network for Public Safety Services**”, 50th International Symposium ELMAR-2008, 10-12 September 2008, Zadar, Croatia, IEEE pp 207-210, 2008.

[42] Felipe, André, “**Teste Qui Quadrado, Aderência e Independência**”. Notas de aula. Disponível em:

<[http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/pessoais:andrefelipe:aula\\_de\\_qui-quadrado.pdf](http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/pessoais:andrefelipe:aula_de_qui-quadrado.pdf)>. Acesso em setembro de 2013.

[43] Cálculo da distância esférica entre dois pontos, “**Aplicações da Trigonometria Esférica na Cartografia e na Astronomia**”. Disponível em: <<http://www.cartografica.ufpr.br/docs/Nadal/APLICA%C3%87%C3%95ES%20DA%20TRIGONOMETRIA%20ESF%C3%89RICA%20NA%20CARTOGRAFIA%20E%20NA%20ASTRONOMIA.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

[44] Moreira, Fernando J.S. Fórmula de Friis, “**Práticas de Antenas**”. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~fernando/material/labantenas.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

[45] Felice, Fernando. “**Análise de Desempenho de Enlaces Ponto-a-Ponto Utilizando a Faixa de Frequência Não Licenciada de 2,4 GHz em Tecnologia Spread Spectrum**”, 148 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia - Departamento de Engenharia Elétrica, Curitiba-PR, 2005.

[46] Costa, Gláucia Grüninger Gomes, “**Espectrometria de Lente Térmica em Sólidos: Teoria e Aplicações**”, 120p. Tese (Doutorado) – Instituto de Física Aplicada de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2005.

[47] Peternela, André Luis, “**Modelo de Propagação Considerando Difração no Topo e nas Laterais dos Obstáculos**”, Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Campinas-SP, 2009.

## APÊNDICE

### PADRÕES APCO-25, TETRA E TETRAPOL

#### O PADRÃO APCO-25

##### INTRODUÇÃO

O padrão APCO-25 foi desenvolvido pela Associação de Oficiais de Comunicações de Segurança Pública, que padronizou através da Associação das Indústrias de Telecomunicações através do conjunto de normas TIA-102, as características de padrão aberto de radiocomunicação digital. O projeto 25 descreve sistemas e padrões de interface aberta entre rádios móveis, portáteis e estações base. [1].

Um dos objetivos originais do esforço de padronização do P25 foi misturar pacotes de dados com voz no mesmo rádio. No P25 usam-se menos pacotes de dados do que comunicação de voz.

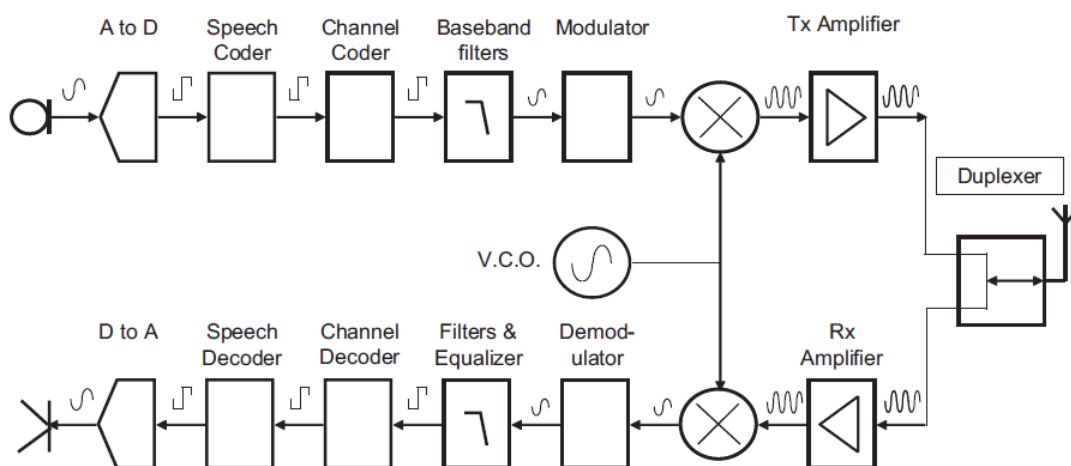


Figura 1, arquitetura P25

O projeto 25 possui duas fases: A fase 1, consiste na operação analógica, digital e modo misto com largura de canal de 12,5 kHz. São usados 4 níveis FM contínuos e não

lineares de modulação para transmissão digital – C4FM. Esta modulação é um tipo de QPSK onde cada símbolo possui um defasamento de 45 graus em relação ao símbolo anterior. A técnica de acesso ao meio é FDMA. A fase 2, consiste na operação com largura de canal de 6,25 kHz, a modulação é CQPSK, simultânea em fase e amplitude, a uma taxa de 4800 símbolos/s, onde cada símbolo possui 2 bits. Estes símbolos podem representar 4 frequências diferentes. [1].

Information Bits	Symbol	C4FM Deviation (Phase 1)	CQPSK Phase Change (Phase 2)
01	+3	+1.8kHz	+135 degrees
00	+1	+0.6kHz	+45 degrees
10	-1	-0.6kHz	- 45 degrees
11	-3	-1.8kHz	-135 degrees

Tabela 1, modulação C4FM e CQPSK do P25.

**C4FM Modulator**



**CQPSK Modulator**

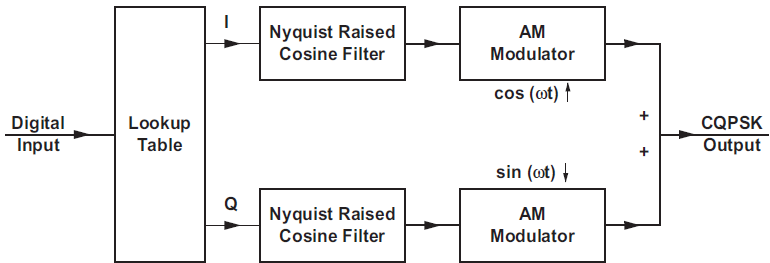


Figura 2, esquema de modulação C4FM e CQPSK

Os pacotes de voz possuem prioridade sobre os pacotes de dados. Desta forma dados só podem ser transmitidos quando cessa a transmissão de voz. Cada pacote de dados possui um cabeçalho com 12 octetos, são 10 octetos de informações e controle, seguidos de 2 octetos de redundância cíclica. Cada octeto possui proteção de código corretor de erros, que expande de 96 para 196 bits (98 símbolos de dígito duplo). Ocorre uma distribuição dos erros devido ao fading Rayleigh sobre os 98 símbolos.



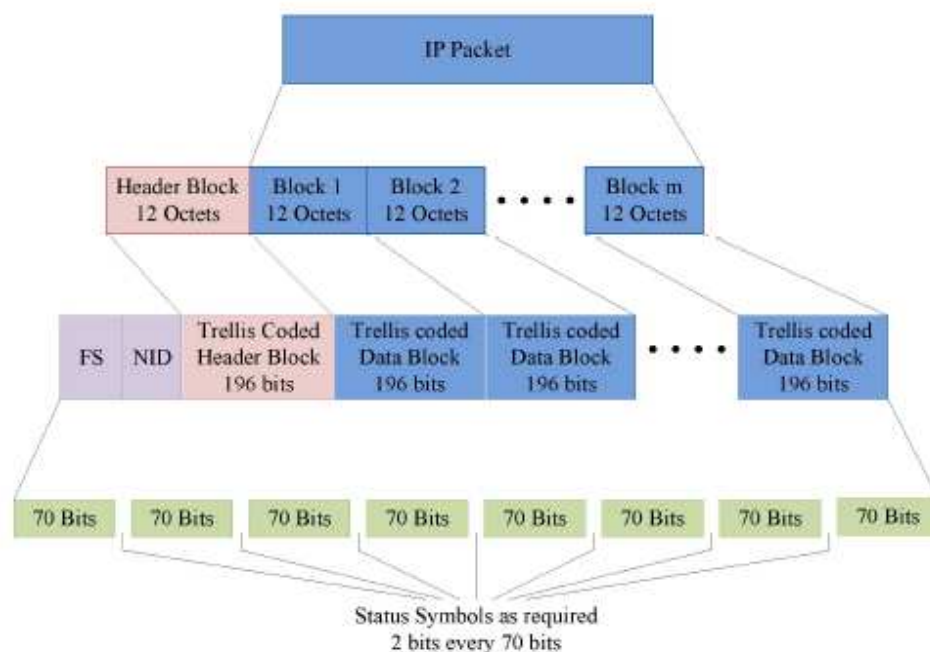


Figura 3, IP Packet to CAI Data Packet Conversion [1].

A identificação na rede é composta por 64 bits (32 símbolos), numa sequência do frame de sincronização, que serve para identificar um novo pacote de dados.

O demodulador QPSK é capaz de receber sinais C4FM e CQPSK, desta forma permitindo ao terminal fase 2 ser compatível com fase 1 e ainda manter compatibilidade com terminais analógicos, mantendo a interoperabilidade e o aproveitamento do legado.

A técnica de acesso ao meio é FDMA e TDMA com capacidade de roaming e reuso de canais. Os terminais P25 operam em modo convencional ou troncalizado tanto na fase 1 como na fase 2, mantendo-se a compatibilidade com rádios analógicos, devido ao receptor comum.[4].

A voz é digitalizada através de um codificador de excitação multi-banda - IMBE e decodificada para áudio analógico no receptor. Este codificador produz 88 bits a cada 20 ms de fala, resultando uma taxa de 4400 bps. O código corretor de erros é somado às informações digitais de voz. Códigos CTCSS, DCS, são substituídos por Network Access Code – NAC de 12 bits (4096 endereços), bem como são inseridos códigos

TGID para identificação de origem e destino em chamadas seletivas. 56 bits de paridade são verificados num frame de 144 bits.[4].

A interface aérea comum (CAI) permite tráfego de superframe de 360 ms, composto de duas unidades de dados lógicas com 180 ms cada, que contém 9 frames IMBE de 20 ms.[3].

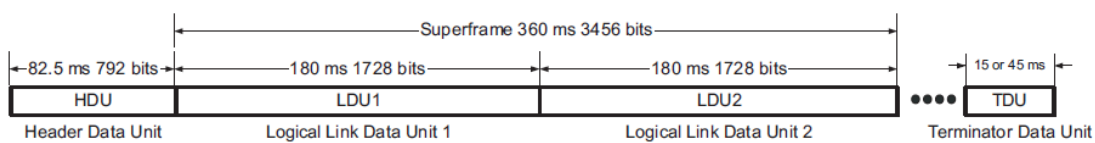


Figura 4, cabeçalho e superframe APCO-25 [4].

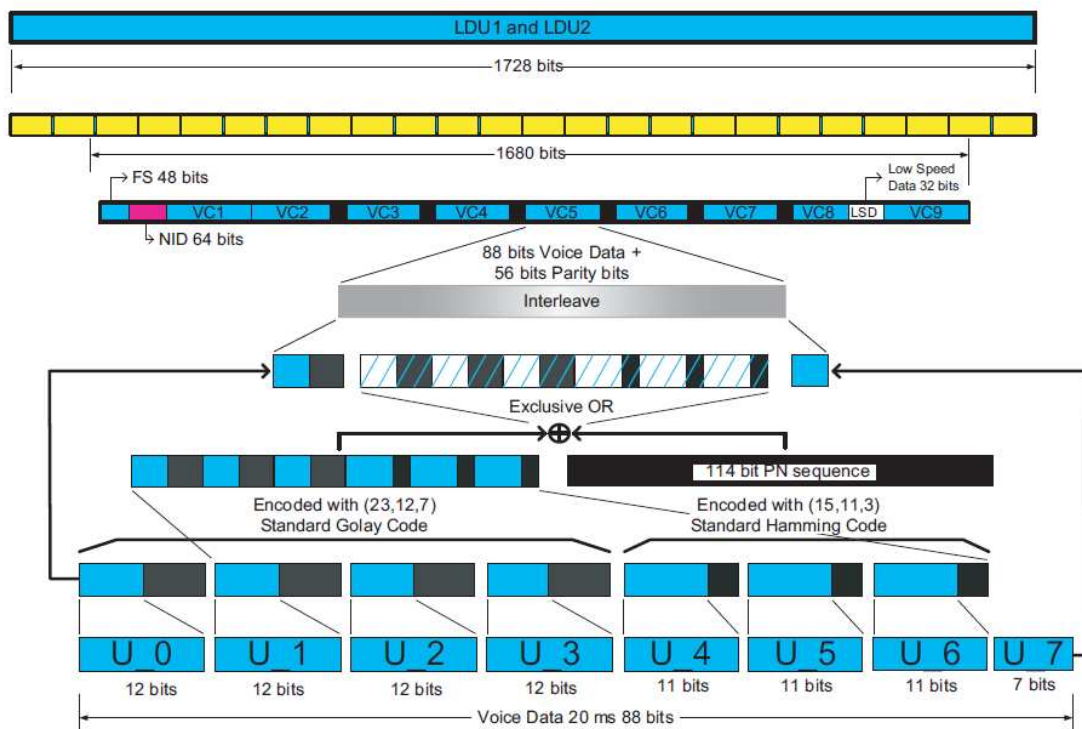


Figura 5, Unidades Lógicas de Dados – APCO25 [4].

A unidade lógica de dados 1, situa-se na primeira metade do superframe, que contém 48 bits de sincronização de rede, 64 bits de identificação de rede, 1296 bits de códigos de voz, 240 bits de controle de link, e 32 bits de dados de baixa velocidade. São 24 bits de status intervalados num espaço de 1728 bits.[4].

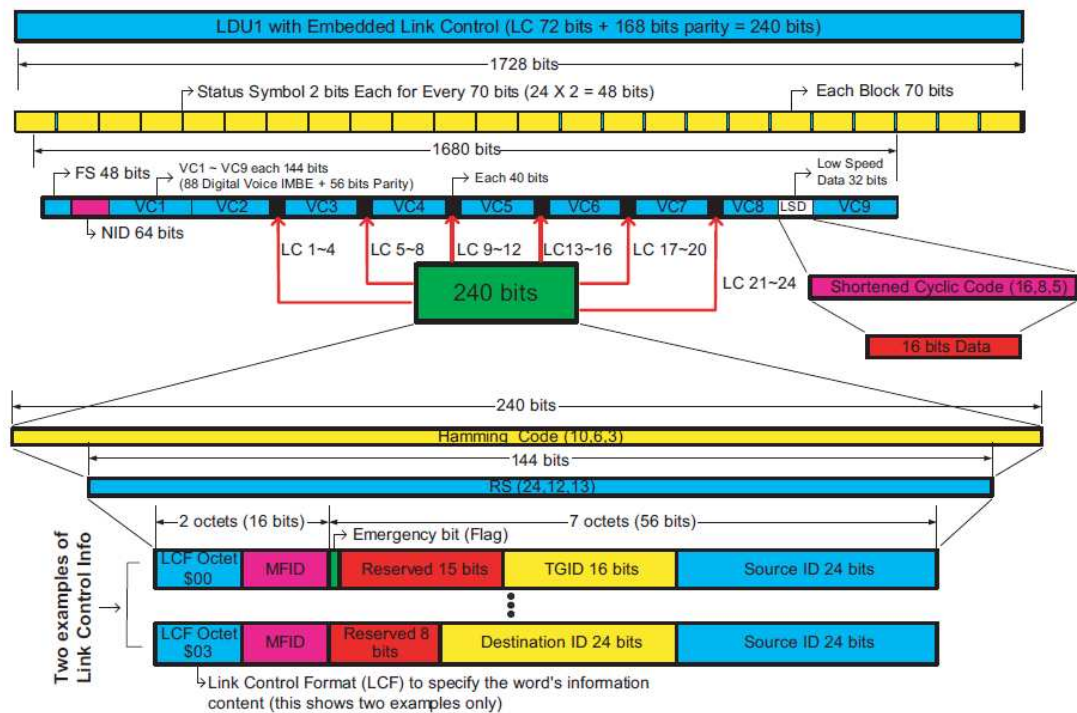


Figura 6, Unidade Lógica de Dados 1 [4].

A Unidade Lógica de Dados 2, possui uma diferença da LDU1, onde existem 32 bits de controle de link, e aqui são 32 bits de sincronização de criptografia.

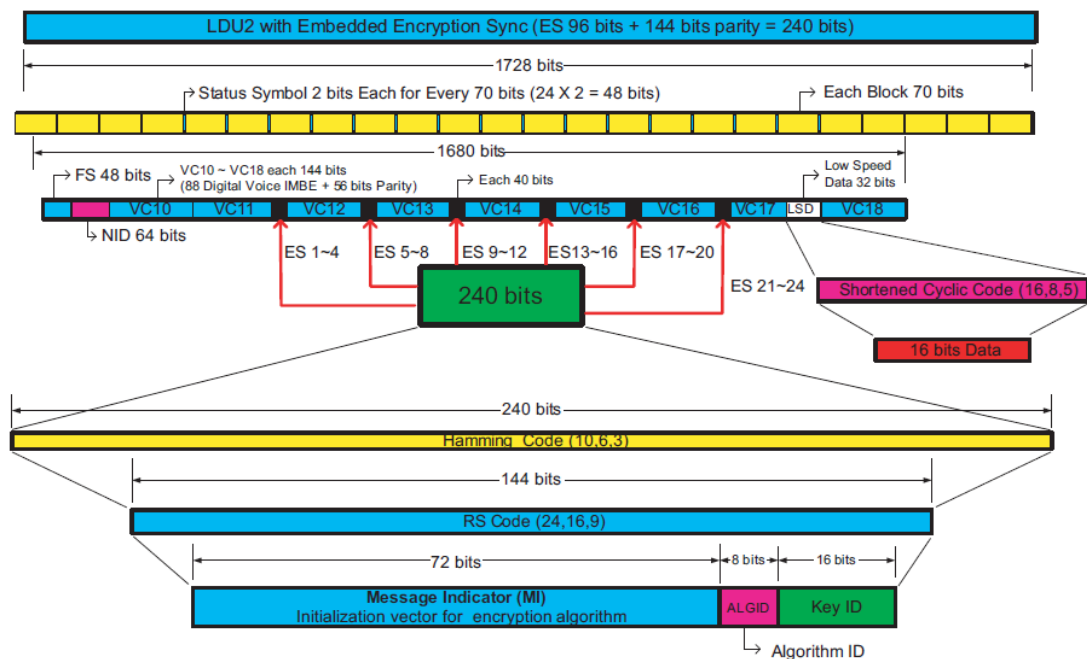


Figura 7, Unidade Lógica de Dados 2 [4].

Os algoritmos de criptografia usados são Data Encryption Standard – DES, com 56 bits mais 8 bits de paridade, totalizando 64 bits de Output Feed Back – DES-OFB, e Advanced Encryption Standard – AES que pode ter 128, 196 ou com 256 bits, sendo usado no P25 apenas a opção de 256 bits. A interoperabilidade com fabricantes diferentes é possível com as chaves do mesmo tipo, existem também algoritmos de criptografia proprietários. Uma especificação adicional é o re-chaveamento de frequências através do ar, - OTAR, que permite a troca de chaves de criptografia por sinais de rádio.

A portadora de voz e dados opera a uma taxa de 9600 bps, sendo 2800 bps para correção de erros, 2400 bps para sinalização, e 4400 bps para voz. O P25 pode operar nas bandas de frequência: 136-174 MHz, 380-512 MHz, 746-806 MHz e 806-870 MHz.

O APCO-25 fase 2, é padronizado dois canais de voz em 12,5 kHz, com técnica de acesso TDMA, segundo a norma TIA 905, a arquitetura do sistema na fase 2 é proposta com um número pequeno de interfaces. São definidas a interface aérea e a conexão com redes externas.

Esta fase possui um canal de controle multiframe com comprimento de 1800 ms, dividido em 240 microslots de 7,5 ms cada. As mensagens são transportadas dentro de um pacote de sinalização de saída de comprimento variável (OSP). Seis ou mais OSP's podem transportar várias mensagens multiplexadas. Uma duas ou três OSP's formam blocos de sinalização troncalizada TSBK, com tempos de 37,5ms, 60ms ou 75ms, e podem transportar mensagens multiplexadas com formato abreviado. [2].

Os tipos de mensagens e sinalização podem ser: Sinalização e Broadcast de Sincronismo (SBS), Sinalização e Broadcast de Informações de Rede (NIBS), Sinalização de Atividade de Tráfego (TAS), e Sinalização Ocasional (OS). Uma estação base mantém 4 filas para cada tipo de sinalização. Mensagens ocasionais são armazenadas numa fila FIFO e deletadas após a transmissão. As outras mensagens são mantidas até o final das chamadas, com um timer para as NIBS. Um estudo de simulação revelou que a taxa de chegada de mensagens OS é de 10/segundo, sendo

90% em formato TSBK e 10% em formato de dados simples, com um *delay* máximo de 200ms, e 90% com delay inferior a 75ms.[2].

## O PADRÃO TETRA

O TETRA - Rádio Terrestre Troncalizado foi definido e padronizado pelo ETSI (Instituto Europeu de Padronização de Telecomunicações). A técnica de acesso ao meio é TDMA com taxa de transmissão de dados 28.800 bps. O esquema de modulação é  $\pi/4$  DQPSK, com um período de sincronização entre 800 e 25.000 símbolos. O Tetra possui uma interface aérea, interface de equipamentos periféricos, interface homem-máquina, infraestrutura, gerenciamento de rede, interface entre sistemas, conexões com redes PSTN, ISDN, e redes IP.

O sistema possui arquitetura baseada em controle centralizado, que pode ocorrer com um ou mais centros de chaveamento baseados em PCM, ou centro de chaveamento IP. Estas soluções podem ser distribuídas ou concentradas com base em sistemas usando um ou mais switches de rede central. Sistemas com controle centralizado são aplicáveis em estruturas grandes com mais de 100 estações base, ao passo que sistemas distribuídos aplicam-se em estruturas menores de até 50 estações base. [5].

Os modo de operação são: serviço de dados curtos, modo pacote de dados e modo circuito de dados. Os terminais podem operar em DMO, modo de operação direta, e com os repetidores.

O espaçamento de canal é de 25 kHz, onde uma portadora tem 4 canais físicos independentes acessados com a técnica TDMA, com a divisão em 4 slots de tempo com duração de 14,167ms. O esquema de modulação é o  $\pi/4$ -DQPSK, que suporta uma taxa bruta de 36 kbps, e desta forma garante a taxa líquida de 28,8 kbps para algumas aplicações de dados.

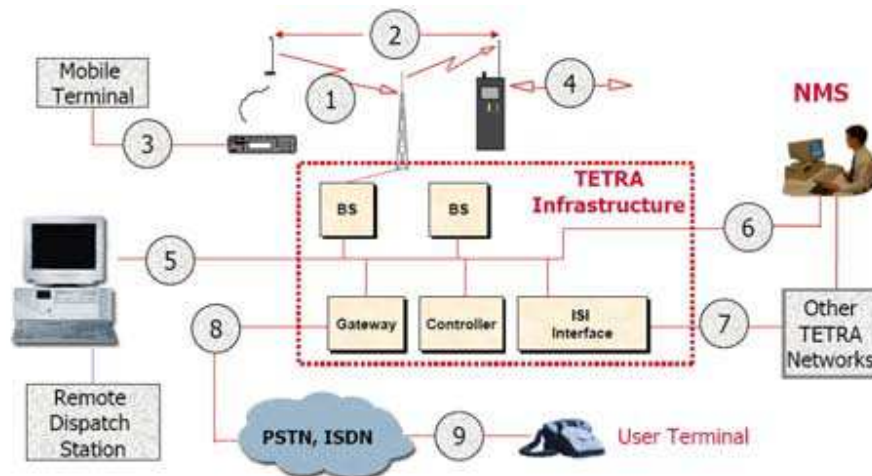


Figura 8, interfaces de rede TETRA

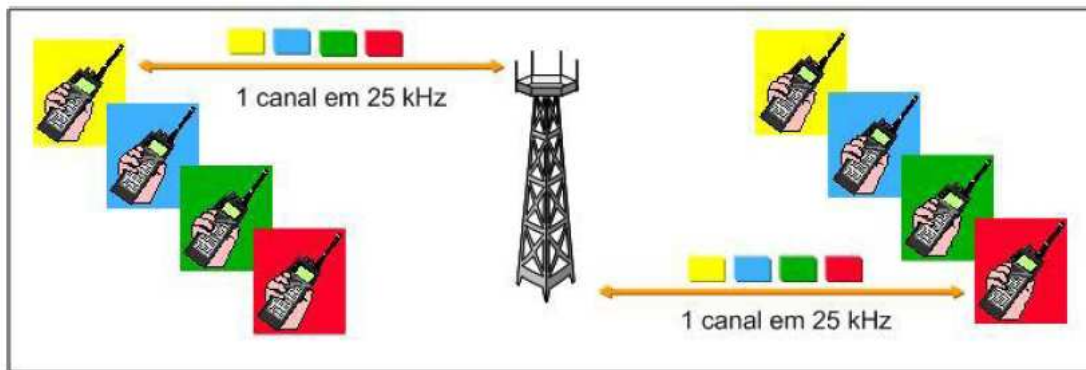


Figura 9, comunicação TDMA sistema TETRA

O uso de criptografia no TETRA segue as recomendações do Grupo de Segurança e Prevenção a Fraudes (SFPG), a arquitetura suporta tipos como AES e IDEA, entretanto somente terminais TETRA permitem a utilização nestas recomendações. Um par de chaves pode ter na chave assimétrica 1024 bits de comprimento para gerenciamento e 128 bits de encriptação aleatoriamente selecionáveis em  $10^{38}$  possibilidades de chaves para voz. Os recursos de chaves podem ainda ser divididos em chaves para pequenos usuários, chaves para uso comercial e chaves para segurança pública, sendo que neste último caso o número de usuários, e as aplicações exigem mais no que se refere a proteção da comunicação.[6].

Os terminais portáteis podem utilizar modo econômico de energia que permite auto-ajustes conforme a necessidade em função da posição, distância, e tempo de uso entre o terminal e a estação base. A pilha de protocolos TETRA é composta de camada

física, camada de enlace e camada de rede. A conexão entre as camadas físicas e de enlace ocorre com os controles de acesso ao meio MAC e controle lógico de link LLC. Na camada de rede existe o controle de entidade móvel/base. Acima deste último controle, existe o protocolo MM, que controla os registros, autenticação, identidade, comunicação em modo direto, sinalização e economia de energia. Este protocolo MM está ligada a aplicação através do chaveamento e gerenciamento da infraestrutura SwMI, conforme mostrado na figura X. [7]

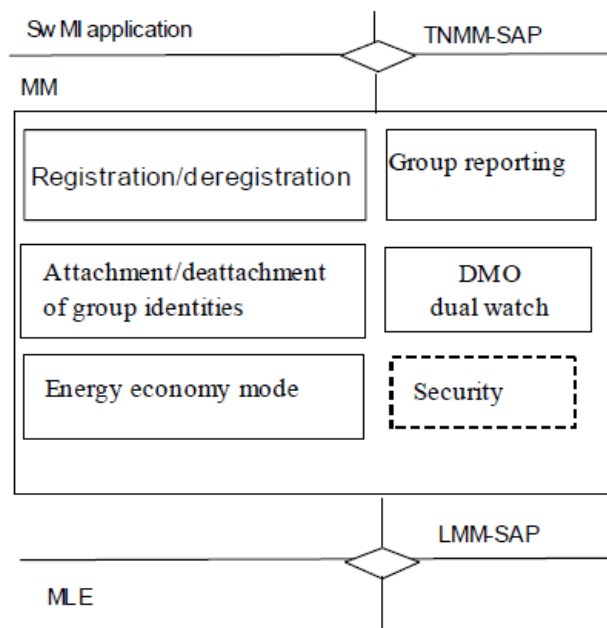


Figura 10, principais funções do MM no SwMI [7]

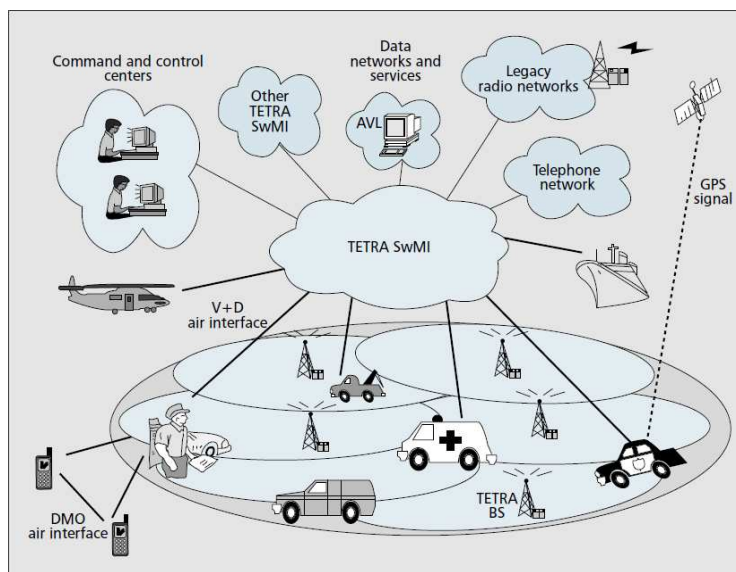


Figura 11, configuração geral de um sistema de segurança pública TETRA [8].

A próxima geração TETRA pode permitir o monitoramento remoto de pacientes, visualização 3D de posicionamento geográfico, robôs móveis, telemetria e assim por diante. Para atendimento a estes requisitos como maior largura de banda, taxas de dados, entre outros é que surgiu o projeto MESA, *Advanced Mobile Broadband Communications for Public Safety Applications*, entre o ETSI e o TTA, em maio de 2000.[8].

## O PADRÃO TETRAPOL

O padrão Tetrapol de rádio digital troncalizado surgiu na França, no final da década de 90, a partir da parceria formada pela guarda nacional francesa *Gendarmerie* e a empresa Matra Comunicações.

No início do projeto foram criadas redes de radiocomunicações digitais envolvendo diferentes órgãos de segurança franceses. Em 1990, na França, foi criada a rede nacional de comunicações para segurança pública denominada ACROPOL. [9].

Em 1992, o Tetrapol foi instalado na Espanha e criada a rede digital NEXUS de comunicações para segurança pública. Pouco tempo depois, em 1994, a República Tcheca adquiriu equipamentos Tetrapol, assim como fez o México, que em 1995, implantou esse padrão em sua capital nacional. Outros países também implantaram o



Tetrapol nas redes de segurança pública, como a Romênia, Eslováquia e recentemente o Brasil.

Desde a sua criação, o padrão Tetrapol não foi adotado exclusivamente em redes governamentais, pelo contrário, empresas privadas também investiram na aquisição dessas redes wireless. Em função disso, diferentes empresas de telecomunicações se reuniram e fundaram um fórum de discussões para o desenvolvimento do padrão em âmbito global. [10].

Com essa iniciativa, as especificações técnicas foram compartilhadas e o detalhamento da tecnologia permitiu a divulgação desse formato de rádio digital para a fabricação em larga escala industrial.

O padrão Tetrapol adota tecnologia de Acesso Múltiplo por Divisão de Frequências (FDMA) e a técnica de Modulação por Chaveamento Mínimo *Gaussian* (GMSK), que pode ser feito na faixa de frequências compreendidas entre 70 a 520 MHz.

Na Europa, o Tetrapol está presente na faixa de 380 a 400 MHz, em canais dedicados à segurança pública e serviços militares para segurança nacional. Para tanto, recomenda-se a faixa de UHF (*Ultra High Frequency*) com a canalização de 10 kHz ou 12,5 kHz e espaçamento de 5 MHz na modalidade Duplex.

Já no Brasil, a faixa de 220 a 470 MHz é utilizada por dez diferentes tipos de sistemas e por 117 mil estações, o que demandou da Anatel um grande trabalho de reengenharia para viabilizar a referida faixa de frequência.[11].

Em 2003, a Polícia Federal consultou a Anatel e procurou fornecedores a fim de obter equipamentos de radiocomunicação troncalizados, digitalizados e com relevante segurança de criptografia na faixa de 450 a 460 MHz. A tecnologia Tetrapol foi escolhida pela Polícia Federal para ser utilizada em todos os grandes eventos esportivos do País. O sistema fixo da Polícia Federal deve ser instalado em todas as capitais brasileiras e em algumas outras cidades.

Além do sistema fixo, a Polícia Federal dispõe do sistema portátil, que pode ser utilizado em todo o território nacional. A polícia federal não tem como prever o local de atuação e, desde a publicação das Consultas Públicas nº 22 a 25/2009, tem buscado junto com a Anatel uma solução razoável tanto para ela, atual usuária da faixa de 450

MHz, quanto para o programa de inclusão digital nas áreas rurais. A proposta final da Anatel sugere a permanência da policia federal na utilização da faixa de 450 MHz até a finalização dos grandes eventos esportivos, que ocorreria em 2018. No entanto, a policia federal procura uma solução para viabilizar, o mais rápido possível, a migração do seu sistema para a faixa indicada pela Anatel, que hoje é a de 380 MHz, a fim de não prejudicar a implantação do programa de banda larga. O problema é preocupante porque os sistemas fixo e portátil não podem conviver tecnicamente na mesma faixa de frequência. [12].

## REFERÊNCIAS

- [1] Eric R. Ramsey, W. Thomas Miller III, Andrew L. Kun, **“A Software Based Implementation of an APCO Project 25 Compliant Packet Data Transmitter”**, University of New Hampshire, Dept. of Electrical & Computer Engineering, IEEE pp 410-414, 2008.
- [2] Talal Diab, Philippe Martins, Philippe Godlewski, **“Control Channel Scheduling for Apco Phase 2 Air Interface”**, The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'06), 2006.
- [3] Paul Kiley, Thomas Benedett, **“Public Safety Interoperability With an Sca Military Radio Using The P25 Waveform”**, Military Communications Conference, IEEE, 2007.
- [4] Daniels Electronics **“P25 Radio Systems Training Guide”**, Disponível em: [http://www.danelec.com/library/english/p25\\_training\\_guide.asp](http://www.danelec.com/library/english/p25_training_guide.asp). Acesso em setembro de 2012.
- [5] Marijan Miculié, Borivoj Modilic, **“General System Architecture of Tetra Network for Public Safety Services”**, 50th International Symposium ELMAR-2008, 10-12 September 2008, Zadar, Croatia, IEEE pp 207-210, 2008.
- [6] Marian Buric, **“Voice End-to-End Encrypted for TETRA Radiocommunication System”**, 8<sup>TH</sup> International Conference On Communications IEEE PP 419-422, 2010.
- [7] Sun Xin, **“Research on Energy Economy Mode in TETRA Digital Trunking System”** Scholl Of Eletronic and Information Engineering, Beijing Jiao Tong University, China, First International Conference on Pervasive Computing, Signal Processing, And Applicatrions IEEE pp 1180-1183, 2010.
- [8] Apostolis k. Salkintzis **“Evolving Public Safety Communication Systems by Integrating WLAN and TETRA Networks”**, Communications Magazine IEEE pp 38-46, 2006.

[9] TETRAPOL. Especificação de Avaliação Pública 1.16.1 – Security Services . Paris:Fórum Tetrapol, 2006.

[10] TETRAPOL. Especificação de Avaliação Pública 1.11.3 – Gateway to IP Networks . Paris: Fórum Tetrapol, 1997.

[11] Agência Nacional de Telecomunicações- Relatório 2010

[12] ASSIS, Mauro S. **Sistemas via satélite**. Sistemas Modernos de Telecomunicações. Rio de Janeiro: UFF, 2005, 168p.

## **ANEXOS**

ANEXO 1 – Artigo publicado no simpósio PIERS – Estocolmo – Suécia - 6 páginas

ANEXO 2 – Artigo submetido ao IEEE sessão América Latina – 10 páginas

## Digital Public Safety Radio Communication

E. Nascimento Junior<sup>1</sup>, H. Tertuliano Filho<sup>1</sup>, J. R. Descardec<sup>2</sup>,  
C. A. Dartora<sup>1</sup>, T. M. Sanchez Otobo<sup>1</sup>, and E. C. Rolin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Federal University of Paraná, Brazil

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Federal University of Tocantins, Brazil

**Abstract**— Big events such as the World Cup and the Olympics bring international responsibilities to the country hosting them. Investments have been made in infrastructure in general. Public safety radio communications is a special area that requires studies, resource, adequacy to international standards, and integration between new and current systems. This article is a measurement exercise test that partially compares the performance of APCO, TETRA and TETRAPOL standards used in public safety. The main objective of this exercise was to contribute to the Federal Government providing additional guidelines for choosing the system to be deployed in these big events.

### 1. INTRODUCTION

The digital radio communication widely used in various industries due to advantages in performance, equipment with reduced dimensions compared to analog systems. Law enforcement agencies use radio communication networks and therefore require adaptation and modernization of their equipment. In this way the process of digitalization of radio communication networks of public security organs in Brazil is to meet current standards, increase the capacity and integrate the systems of different law enforcement institutions.

#### 1.1. The Standards Used in Brazil

On a wide range of digital radio standards and systems available for use in public security, proprietary systems and open standards. One of the most widely used open standards in Brazil are the APCO-25, the TETRAPOL and TETRA.

The APCO-25 is installed in the public security departments of various Brazilian States, being the most important structure found in the State of São Paulo, with conventional and trunking systems operating in phases 1 and 2, on VHF and 800 MHz [2].

The pattern APCO-25 evolved from APCO project 16—that was an analog troncalizada structure. For this reason the APCO-25 maintains compatibility with analog systems, being one of the most relevant characteristics. In this system the voice packets are prioritized in relation to data packets. Each packet has a header with 12 octets, octets 10 information and control, and 2 octets of cyclic redundancy check [3]. Figure 1 presents the packages in one of the frames of the system.



Figure 1: Header and frame of APCO-25.

The unit logical data 1, is located in the first half of the superframe, containing 48 bits of the 64-bit identification, 1296 bits synchronization voice codes, 240 bits link control and 32 bits of low-speed data [1].

The TETRAPOL is used by the Federal Police in the 27 capitals of Brazilian States in the 450 MHz band, and will migrate to 380 MHz range in resolution 557 attendances of Anatel. This pattern emerged in early 1990, a partnership between the security forces and the French defence and the company Matra communications. In France have been installed radio networks for military

use and the ACROPOL network for use in public safety. In this system the encryption is end-to-end type, with extensive key algorithm, which makes the system more secure than the other. The Tetrapol standard air interface is presented in Figure 2.

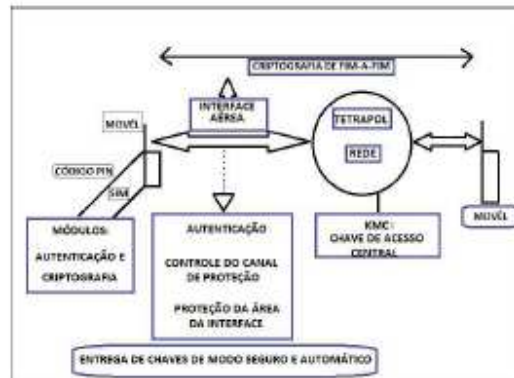


Figure 2: Tetrapol network air interface.



Figure 3: Registration, authentication protocol, signaling and power control TETRA.

The TETRAPOL has multiple access FDMA technique, and their mode of operation is trunked only.

The TETRA is used by the department of public security of the State of Rio de Janeiro, as a legacy of the 2007 Pan-American Games, is operated in the 450 MHz band, and also is in the process of migrating to 380 MHz range, resolution 557 to Anatel. The TETRA appeared in 1994, has been standardized by ETSI, its operation is in the trunked form and the constant communication with the terminal carrier. Your registration protocol performs authentication control, energy saving, safety and use in direct mode [6].

The access to the technical means is TDMA with data transmission rate of 28,800 bps. The PI/4 is DQPSK modulation scheme with a synchronization period between 800 and 25,000 symbols [4]. Has an air interface, peripheral equipment interface, man-machine interface, infrastructure, network management, system-to-system interface with PSTN networks, ISDN connections, and IP networks [7]. Figure 3 summarizes these interfaces.

O tetra uses the TEA protocol for encryption end-to-end [5].

Table 1 presents a comparison between digital radio standards used in public security in their respective stages.

Table 1: Comparison between standards

	APCO-25.1	APCO-25.2	TETRA 1	TETRA 2	TETRAPOL
Modulação	QPSK	QPSK	16 QPSK	16 QPSK	GMSK
Faixa de Frequência	1,2,3,4	1,2,3,4	5	5	2
Espacamento de canal (kHz)	12,5	6,25	6,25	6,25	12,5
Canal de Controle (kHz)	12,5	6,25	6,25	6,25	12,5
Canais em 25 kHz	2	4	4	4	2
Potência Portátil (W)	3	5	3	3	5
Potência Móvel (W)	45	45	10	10	10
Potência Repetidor (W)	45	45	75	75	75
Compatível com Analógico	sim	sim	não	não	Não
Sistema Convencional	sim	sim	não	não	Não
Sistema Troncalizado	sim	sim	sim	sim	Sim
Técnica de Múltiplo Acesso	FDMA	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA
Codificador de Voz	IMBE	AMBE	ACELP	ACELP	RPCELP
Criptografia	DES-OPBAES	DES-OPBAES	TEA	TEA	
Taxa de Tx. Dados (kbps)	9,6	9,6	28,8	28,8	7,2
Controle de Potência Portátil	Não	Não	Sim	Sim	Sim



### 1.2. Standards Test

LabTelecom-Telecommunications Laboratory, Department of electrical engineering from UFPR elaborated a test routine for comparison between the standards used in public safety. This routine was approved by ANATEL in the form of technical note. Was chosen for the testing of systems, by the National Secretariat of public safety the city of Oriximiná in Pará. It was during the testing phase, the observation of the behavior not only of technologies but also the behavior of the electrical components, mechanical parts, antenna, types of power equipment and the frequency of operation. The development of numerical solutions for coverage analysis depends not only on the identification and solution for integration of propagation models, but also from the database to the proper design of the project were used two softwares. The Radiomóvil developed by Canadian Roger Coudé using SRTM data base and Longley-Rice propagation model and the Celplanner, Brazilian commercial product that supports multiple Celplan technologies. The use of the same allowed then the measurement of altimetry and fundamental factors on morphology analysis of results. The databases used in the analysis of the results were raster or vector, i.e., made up of pixels.

Figure 4 shows the topography of Oriximiná used by Celplanner.

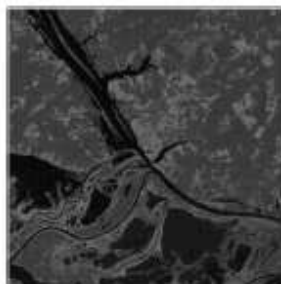


Figure 4: Image from topography of Oriximiná in Celplanner.

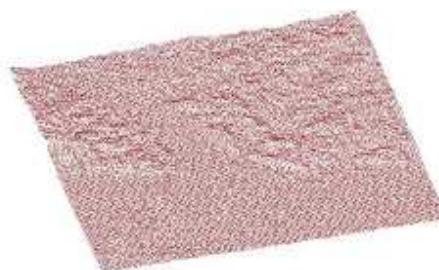


Figure 5: Image monochrome 3D of Oriximiná in Celplanner.

The Figures 5 and 6 show the same region of Figure 4, but in 3D, the first being monochrome, the second color. These figures were also generated in Celplanner.

At the same time in the LabTelecom, an algorithm was written in Matlab®, able to reproduce the results of the tests in Oriximiná, in the same way as commercial programs used. With the use of the Google maps API's were extracted data from street of the city as well as its geographical limits. These data were then entered into the algorithm developed and the results can be seen in Figure 7.

Likewise the terrain profile of measurement points and the decay of power in dBm, this algorithm to a radius of 10.8 miles away are shown in Figure 8.

The measuring points are shown in Table 2. It should be noted that during the test, a team of

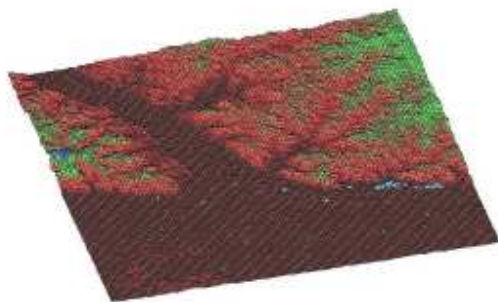


Figure 6: Image color 3D of Oriximiná in Celplanner.



Figure 7: Map of Oriximiná with coverage circle and observation angle in the algorithm.



Anatel and representatives of companies remained in the ERB and another was the field making the offset with the measuring equipment on the vehicle, on a trajectory over the measuring points.

In the algorithm was also possible to obtain a 3D image in the region, and the points of measurement which can be seen in Figure 9.

The Figure 10 shows the antenna-Spectrum Analyzer.

The Tower in which the equipment was installed had 80 m high, however for testing the standard height was 36 m from the foot of the Tower. At the end of the test, to the participating companies delivered reports containing results of the measurements. From these data was generated Figure 11, where we have the power levels measured in dBm in ordered, what shows the differences of mea-

Table 2: Points measured

ID	LATITUDE	LONGITUDE	(Km)
BASE	1,770416667	55,859694444	
L01	1,773801111	55,857111111	0,479022522
L02	1,777305556	55,854000000	0,894384334
L03	1,778683333	55,852865556	1,186553364
L04	1,767100000	55,852972222	0,513513024
L05	1,763872222	55,856333333	0,930114972
L06	1,760777778	55,858894444	1,167119466
L07	1,758638889	55,870511111	1,786583456
NS1	1,760388889	55,852472222	1,157832276
NS2	1,757250000	55,859600000	1,466293509
NS3	1,754083333	55,856555556	1,850734605
NS4	1,750750000	55,853500000	2,234317547
NS5	1,747583333	55,850555556	2,738579125
NS6	1,744138889	55,847600000	3,223330062
NS7	1,740555556	55,844777778	3,713992257
NS8	1,737111111	55,842280000	4,183272562
NS9	1,733472222	55,839611111	4,678656314
NS10	1,729888889	55,837000000	5,168118134
NS11	1,726222222	55,834555556	5,657073519
NS12	1,722633333	55,831916667	6,154393738
NS13	1,718988889	55,830222222	6,653054777
NS14	1,714901111	55,830222222	7,040537773
NS15	1,710333333	55,826780000	7,524105148
NS16	1,701222222	55,809305556	9,523419308
NS17	1,679500000	55,791638889	12,63519319
NS18	1,668972222	55,780000000	14,38264902
NS19	1,647972222	55,778305556	16,36829022
RS01	1,744138889	55,855444444	2,962047196
RS02	1,805888889	55,839100000	4,559951302
RS03	1,810694444	55,827472222	6,27382126
RS04	1,843025556	55,796277778	10,80110525

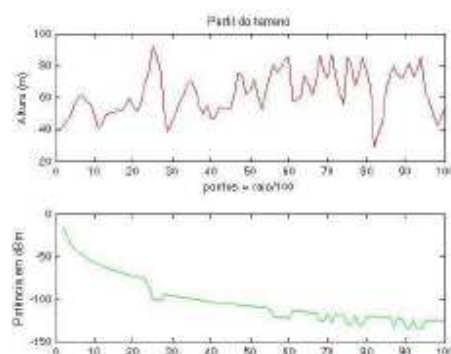


Figure 8: Terrain profile and power decay on the algorithm.

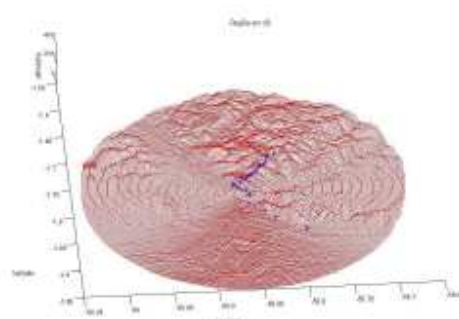


Figure 9: Image monochrome 3D of Oriximiná in the algorithm.

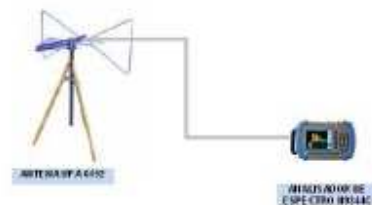


Figure 10: Spectrum analyzer antenna scheme.

surement and measurement between the representatives the APCO-25 because it operated with the same frequency and power, but the results showed differences in potencies received.

In Figure 12 where it has the measurements carried out by Anatel is possible to see the collected data and compare the performance of systems along the way.

Upon completion of the tests, sought a similar configuration and calibration of the parameters tested to perform the Celplaner coverage prediction. The result of the APCO-25 is presented in Figure 13.

In turn the result of TETRA is shown in Figure 14.

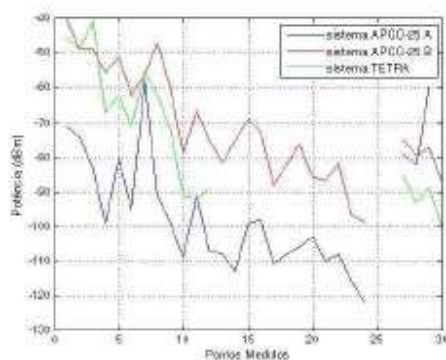


Figure 11: Measures put forward by the manufacturers.

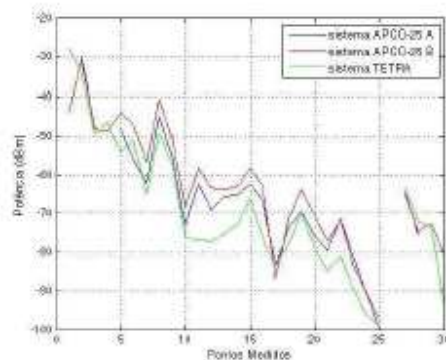


Figure 12: Measures presented by Anatel.

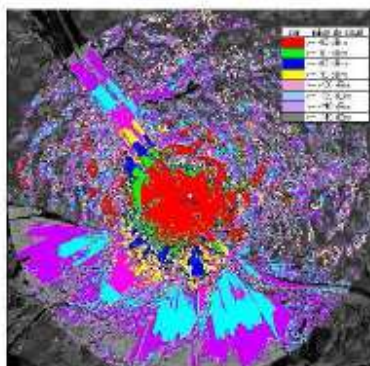


Figure 13: Predição de cobertura do APCO-25 no Celplanner.

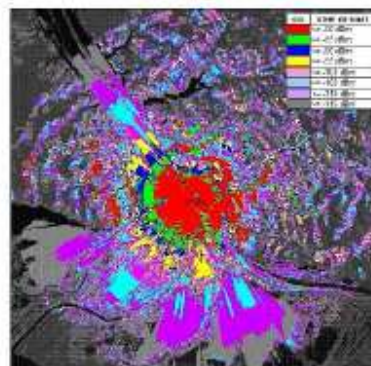


Figure 14: Predição de cobertura do TETRA no Celplanner.



## 2. CONCLUSIONS

In the face of efforts to adapt and standardization of digital radio systems, the need to use an integrated and interoperable digital system, with robust infrastructure for use throughout the national territory, at the federal, State and municipal levels so shared and controlled by security agencies involved.

About the tests, it is worth noting that companies that represented the APCO-25 system, presented conventional structure with repeaters configured in 100 W, and the TETRA system was configured with 10 W, being the native troncalizada operation of this standard.

The TETRA and APCO-25 systems tested in Oriximiná demonstrated satisfactory performance under the aspect of radio propagation in accordance with Friis's formula, as was expected. The tests were carried out with different powers, of course configured with the system configured with greater power (APCO-25) presented greater coverage, however it was found that if they are with the same parameters of frequency, power and linkage geometry, the result will be similar coverage, with difference in other parameters such as traffic and data transmission rate. It has not been possible to perform the measurement of bit error rate (BER), data transmission rates among others, leaving these indicators to be assessed at the next opportunity.

## ACKNOWLEDGMENT

The SENASP, ANATEL, the Electrical Engineering Department of the UFPR, Department of electrical engineering of the UFT, Motorola Solutions, Tait Radiocommunications and Teltronic S.A. And everyone who contributed to the performance of the tests in remote and inhospitable region like the Amazon rainforest around the city of Oriximiná in Pará State.

## REFERENCES

1. Ramsey, E. R., W. Thomas Miller III, and A. L. Kun, "A software based implementation of an APCO Project 25 compliant packet data transmitter," *IEEE Conference on Technologies for Homeland Security*, 410-414, Department of Electrical & Computer Engineering, University of New Hampshire, 2008.
2. Diab, T., P. Martins, and P. Godlewski, "Control channel scheduling for apco Phase 2 air interface," *The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'06)*, 2006.
3. Kiley, P. and T. Benedett, "Public safety interoperability with an SCA military radio using the P25 waveform," *IEEE Military Communications Conference*, 2007.
4. Miculić, M. and B. Modilić, "General system architecture of tetra network for public safety services," *50th IEEE International Symposium ELMAR-2008*, 207-210, Zadar, Croatia, Sep. 10-12, 2008.
5. Buric, M., "Voice end-to-end encrypted for TETRA radiocommunication system," *8th IEEE International Conference on Communications*, 419-422, 2010.
6. Xin, S., "Research on energy economy mode in TETRA digital trunking system," *IEEE First International Conference on Pervasive Computing, Signal Processing, and Applications*, 1180-1183, Scholl of Eletronic and Information Engineering, Beijing Jiao Tong University, China, 2010.
7. Salkintzis, A. K., "Evolving public safety communication systems by integrating WLAN and TETRA networks," *IEEE Communications Magazine*, 38-46, 2006.



# Performance Analysis of 380-470 MHz Band Radio Systems, for Brazilian Public Security Use

E. NASCIMENTO Júnior, E. C. ROLIN, T. M. Sanchez OTOBO, H. TERTULIANO Filho, C. A. DARTORA, J. R. DESCARDECI

**Resumo** — A concepção de sistemas de segurança inteligentes e interfaceáveis que permitam a obtenção de produtos confiáveis e suficientemente robustos para uso em segurança, necessária para atendimento ao simples cidadão, tem sido objeto de muita discussão e estudo por parte do governo federal brasileiro, ante a recepção de eventos esportivos relevantes. Setores sensíveis e de presença permanente como defesa e segurança se fazem notáveis diante dos desafios e expectativas aguardadas. O desafio para a concepção destes sistemas consiste em desenvolver redes de protocolos diferentes que sejam interoperáveis e compartilhados. Dentro deste contexto é que o presente artigo pretende contribuir com um comparativo das tecnologias mundialmente utilizadas em Segurança Pública para rádio comunicação (Sistema APCO, TETRA e TETRAPOL) apresentando um estudo de caso real com testes de comunicação das três tecnologias realizados em consonância com a Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL e o Ministério da Justiça através da Secretaria Nacional de Segurança Pública.

**Palavras-Chave** — Anatel, APCO-25, TETRA, TETRAPOL, Segurança Pública.

**Abstract** - The design of intelligent safety systems and interfaced that allow the reliable products and robust enough for use in security, necessary for the ordinary citizen, has been the subject of much discussion and study by the Brazilian federal Government, before the receipt of relevant sportive events. Sensitive sectors and permanent presence as notable are security and defense in the face of challenges and expectations expected. The challenge for the design of these systems is to develop networks of different protocols that are interoperable and shared. Within this context is that this article seeks to contribute to a globally technologies used in Comparative Public Safety radio communications (APCO-25 System, TETRA and TETRAPOL) showing a real case study with the three communication technologies tests carried out in accordance with the national agency of telecommunications – ANATEL and the Ministry of justice through the National Secretariat of Public Security.

**Keywords** - Anatel, APCO-25, TETRA, TETRAPOL, Public Security.

## 1. INTRODUÇÃO

A Copa do Mundo de Futebol de 2014, os Jogos Olímpicos de 2016, entre outros aspectos colocam o país em evidência no cenário internacional. Diante deste quadro vários investimentos estão sendo realizados nas mais diversas áreas, envolvendo desde infraestrutura aeroportuária, de transportes, acomodações e hospedagens, circuitos turísticos e assim por diante. A partir destas tratativas os setores de segurança pública e de defesa não poderiam ficar alheios, antes buscam antecipar-se aos eventos e tomar decisões de grande abrangência que variam desde a Presidência da República até ações locais nos municípios, passando pelas esferas estaduais, conforme preceitua a carta magna, Constituição Federal de 1988.

Em consonância com estes desdobramentos, os setores de segurança, no que tange às telecomunicações, possuem vários projetos e sistemas em desenvolvimento, tais como: sistemas de radiocomunicações, monitoramento de imagens em vias públicas e locais de grande circulação de pessoas, aumento de oferta para chamadas de emergência, como números telefônicos de outros países, bem como novas possibilidades de chamadas de emergência via *chat*, via *e-mail*, via *sms*, originados de computadores portáteis ou quaisquer dispositivos móveis.

Novas aplicações, como adoção de portais para fiscalização de veículos nas rodovias, ou ainda intensificação de uso de aplicações conhecidas como *OCR optical character recognition*, em postos de fiscalização das Polícias Rodoviária Federal e Estadual, representam mudanças nas quais o poder público passa a utilizar tecnologia para melhorar a prestação de serviços e operações.

O uso destes recursos pode variar desde tecnologias de rádio digital embarcado em uma viatura de policiamento ostensivo, até mecanismos de termografia para grupos especiais de ação antibomba e antiterrorismo. O emprego de câmeras com visor noturno em armas, aeronaves e veículos em geral são outros exemplos. Este trabalho busca focar nos sistemas de radiocomunicações dos organismos de segurança pública do Brasil, priorizando as aplicações das polícias militares, por serem estas as maiores operadoras deste tipo de sistema.

A Lei n. 9472/1997, Lei Geral das Telecomunicações preceitua que os órgãos de segurança pública classificados como polícia ou bombeiros, gozam de isenção de taxas e de abatimentos nos custos dos preços públicos. Desta forma estes organismos possuem um menor custo para aprovação de projetos de radiocomunicações, bem como na obtenção do licenciamento de suas estações [1].

E. Nascimento Jr., Universidade Federal do Paraná, Curitiba, eduln@yahoo.com.br,
H. Tertuliano F., Universidade Federal do Paraná, Curitiba, tertuliano@elettrica.ufpr.br,
J. R. Descardeci, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, ricardo@mail.uft.edu.br,
C. A. Dartora, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, cadartora@elettrica.ufpr.br,
E. C. Rolin, Instituto Federal do Paraná, Curitiba, evandro.rolin@ifpr.edu.br,
T. M. S. Ootobo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, theomaootobo@yahoo.com.br



Entretanto diferentemente das Forças Armadas, as polícias necessitam aprovar junto a Anatel os seus projetos para ocupação de frequências e o cadastramento de estações. Nas forças armadas considerando-se a aplicação, a necessidade de mobilidade em todo o território nacional e a velocidade de resposta requerida, tais exigências são dispensadas pela Anatel. Não havendo, portanto, necessidade de aprovação de projetos para licenciamento de estações ou ocupação de canais. Assim as forças armadas precisam apenas respeitar suas faixas de espectro de frequências, que são subdivididas e distribuídas pela Anatel, conforme o Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil [2].

A partir da busca de uma melhor eficiência espectral a Anatel passou a editar resoluções para regular e disciplinar as faixas de frequências, os tipos de serviço, entre outros. A faixa de 450-470 MHz, por exemplo, que era ocupada anteriormente por órgãos de segurança pública, passou a ser destinada ao Programa Nacional de Banda Larga - PNBL. Sendo que a partir deste ato, a faixa de 380 MHz passou a ser destinada aos órgãos de segurança pública. Considerando-se esta nova faixa de frequência, conforme contido na resolução n. 557 da Anatel, intui-se que os padrões mundialmente conhecidos e disponíveis no mercado de telecomunicações para serem utilizados em segurança pública são: os sistemas APCO-25, TETRA e TETRAPOL. Em função de sua diversidade geográfica, de sua extensão territorial, de suas variações topográficas e morfológicas, bem como da realidade específica de cada localidade, o Brasil não possui uma definição clara e objetiva sobre qual destes padrões é o mais adequado para ser adotado no país [3].

#### A. Funcionalidades Gerais

Um sistema de comunicação em segurança pública possui características diferenciadas de um sistema de comunicação comercial. Em segurança pública, o mínimo de funcionalidade que o sistema deve ter é a capacidade de gerenciamento de rede de fácil controle e que, este controle possa ser realizado em qualquer ponto da rede, que existam chamadas de emergência, que o sistema seja privativo, que haja transporte de voz, dados e imagens, e principalmente, que o mesmo seja seguro. Na Fig. 1 sumarizaram-se os principais requisitos de um sistema de comunicação para uso em segurança pública de modo não exaustivo.

Governança	Facilidade de conexão	Chamada Seletiva
Segurança	Transmissão de dados	Troca de Mensagens
Identificação de Terminais	Bloqueio remoto de terminais	Interconexão de redes
Autenticação de Terminais	Chamada Individual	Interoperabilidade
Chaves de Criptografia	Chamada em Grupos	Interface com outros

Figura 1. Principais requisitos de um sistema de comunicações em segurança pública.

Com o intuito de comparar qual das tecnologias existentes para a segurança pública seria melhor para instalação no país, questionou-se primeiramente quais seriam as funcionalidades

gerais requeridas, para assim verificar se os padrões existentes corresponderiam às necessidades demandadas.

#### B. O padrão APCO-25

O padrão APCO-25 - *Association of Public-safety Communications Official's Project 25* também conhecido como P25 ou *Project 25* foi desenvolvido pela Associação de Oficiais de Comunicações de Segurança Pública dos Estados Unidos, que padronizou através da Associação das Indústrias de Telecomunicações Americana, um conjunto de normas conhecido pela sigla TIA-102, com características para radiocomunicação digital. O Projeto 25 descreve sistemas e padrões de interface aberta entre rádios móveis, portáteis e estações base [4].

O P25 foi projetado como um sistema de rádio digital troncalizado com a premissa de manter compatibilidade com versões anteriores, ou seja, um terminal P25 comunica-se com um terminal analógico. O Projeto 25 possui duas fases: A fase 1 consiste na operação analógica, digital e modo misto com largura de canal de 12,5 kHz. São usados 4 níveis FM contínuos e não lineares de modulação para transmissão digital - C4FM. Esta modulação é do tipo QPSK, onde cada símbolo possui um defasamento de 45 graus em relação ao símbolo anterior. A técnica de acesso ao meio é o Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência - FDMA. Por sua vez a fase 2 consiste na operação com largura de canal de 6,25 kHz, a modulação utilizada é a CQPSK, simultânea em fase e amplitude, a uma taxa de 4800 símbolos/s, onde cada símbolo possui dois (2) bits. Estes símbolos podem representar quatro (4) frequências diferentes, como apresentado na Fig. 2, a seguir.

Bit de Informação	Símbolo	C4FM Desvio (Fase 1)	CQPSK Troca de Fase (Fase 2)
01	+3	+1.8 kHz	+135 graus
00	+1	+0.6 kHz	+45 graus
10	-1	-0.6 kHz	-135 graus
11	-3	-1.8 kHz	45 graus

Figura 2. Modulação C4FM e CQPSK do APCO-25

A Fig. 3 mostra um diagrama em bloco dos moduladores da primeira fase C4FM e da segunda fase CQPSK, onde se pode observar que ambos os moduladores possuem como característica comum, um filtro de detecção de modulação de frequência, o que diferenciara o uso do modulador, podendo ser o C4FM ou CQPSK.

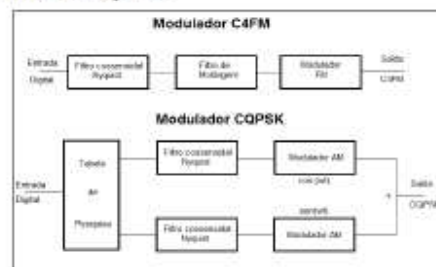


Figura 3. Esquema de modulação C4FM e CQPSK.



No APCO-25, os pacotes de voz possuem prioridade sobre os pacotes de dados. Desta forma dados só podem ser transmitidos quando cessa a transmissão de voz. Cada pacote de dados possui um cabeçalho com 12 octetos, sendo 10 octetos de informações e controle, seguidos de 2 octetos de redundância cíclica. Cada octeto possui proteção de código corretor de erros, que expande de 96 para 196 bits (98 símbolos de digito duplo). Ocorre uma distribuição dos erros devido ao desvanecimento de Rayleigh sobre os 98 símbolos. A identificação na rede é composta por 64 bits (32 símbolos), na sequência do frame de sincronização o que serve para identificar um novo pacote de dados. Já o demodulador QPSK é capaz de receber sinais C4FM e CQPSK, desta forma permitindo ao terminal fase 2 ser compatível com fase 1 e ainda ter compatibilidade com terminais analógicos, mantendo a interoperabilidade e o aproveitamento do legado. A técnica de acesso ao meio é FDMA e TDMA com capacidade de *roaming* e reuso de canais. Os terminais P25 operam em modo convencional ou troncalizado tanto na fase 1 como na fase 2, mantendo-se a compatibilidade com rádios analógicos, devido ao receptor comum [4].

A voz é digitalizada através de um codificador de excitação multibanda – IMBE, e decodificada para áudio analógico no receptor. Este codificador produz 88 bits a cada 20 ms de fala, resultando uma taxa de 4400 bps. O código corretor de erros é somado às informações digitais de voz. Códigos CTCSS, DCS, são substituídos por códigos NAC *Network Access Code* de 12 bits (4.096 endereços), bem como são inseridos códigos TGID para identificação de origem e destino em chamadas seletivas. Em um frame de 144 bits, 56 bits de paridade são verificados [4].

A interface aérea comum (CAI) permite tráfego de superframe de 360 ms, composto de duas unidades de dados lógicos com 180 ms cada, que contém 9 frames IMBE de 20 ms [6]. A sumarização do exposto encontra-se na Fig. 4.



Figura 4. Esquema de modulação C4FM e CQPSK.

A unidade lógica de dados 1, situa-se na primeira metade do superframe, que contém 48 bits de sincronização de rede, 64 bits de identificação de rede, 1296 bits de códigos de voz, 240 bits de controle de *link*, e 32 bits de dados de baixa velocidade. Os algoritmos de criptografia usados são *Data Encryption Standard* – DES, com 56 bits mais 8 bits de paridade, totalizando 64 bits de *Output Feed Back* – DES-OFB e *Advanced Encryption Standard* – AES, que pode ter 128, 196 ou com 256 bits, sendo usado no P25 apenas a opção de 256 bits. A interoperabilidade com fabricantes diferentes é possível com as chaves do mesmo tipo, existem também algoritmos de criptografia proprietários. Uma especificação adicional é o chaveamento de frequências através do *air-OTAR*, que permite a troca de chaves de criptografia por

sinais de rádio. A portadora de voz e dados opera a uma taxa de 9600 bps, sendo 2800 bps para correção de erros, 2400 bps para sinalização, e 4400 bps para voz. O P25 pode operar nas bandas de frequência: 136-174 MHz, 380-512 MHz, 746-806 MHz e 806-870 MHz. Na fase 2 foram padronizados dois canais de voz em 12,5 kHz, com técnica de acesso TDMA, segundo a norma TIA 905, a arquitetura do sistema nesta fase é proposta com um número pequeno de interfaces. São definidas a interface aérea e a conexão com redes externas. A interface aérea do APCO-25 abrange a saída do sistema irradiante das ERBs até a entrada dos terminais, sejam estes fixos, móveis e portáteis. As funcionalidades gerais de sistemas troncalizados encontram-se presentes nas fases 1 e 2, e mantendo-se a compatibilidade, uma rede fase 2, permite a comunicação de terminais fase 1, ao custo de ocupação do dobro da largura de banda ou seja 12,5 kHz ao invés de 6,25 kHz possível por canal nesta fase [7]. Na Fig. 5 visualiza-se a interface aérea comum.

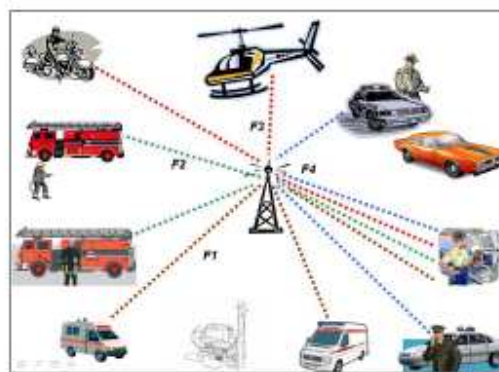


Figura 5. Interface aérea comum APCO-25

Nesta fase tem-se ainda o canal de controle multiframe com comprimento de 1800ms, dividido em 240 microsots de 7,5 ms cada. As mensagens são transportadas dentro de um pacote de sinalização de saída de comprimento variável (OSP). Seis ou mais OSPs podem transportar várias mensagens multiplexadas. Uma, duas ou três OSPs formam blocos de sinalização troncalizada TSBK, com tempos de 37,5 ms, 60 ms ou 75 ms, e podem transportar mensagens multiplexadas com formato abreviado. Os tipos de mensagens e sinalização podem ser: Sinalização e *Broadcast* de Sincronismo (SBS), Sinalização e *Broadcast* de Informações de Rede (NIBS), Sinalização de Atividade de Tráfego (TAS), e Sinalização Ocasional (OS). Uma estação base mantém 4 filas para cada tipo de sinalização. Mensagens ocasionais são armazenadas numa fila FIFO e são apagadas após a transmissão. As outras mensagens são mantidas até o final das chamadas, com um *timer* para as NIBS. Um estudo de simulação revelou que a taxa de chegada de mensagens OS é de 10 mensagens por segundo, sendo 90% em formato TSBK e 10% em formato de dados simples, com um *delay* máximo de 200ms, e 90% com *delay* inferior a 75ms [5].



Os sistemas APCO-25 encontram-se instalados nas instituições policiais norte-americanas, na Austrália e na Nova Zelândia. No Brasil este sistema é utilizado pelas polícias militar e civil dos Estados de São Paulo, Espírito Santo, Amazonas, Paraná, Pernambuco e Sergipe, e ainda em empresas de energia elétrica como a Companhia Paranaense de Energia – COPEL, e de petróleo como a PETROBRAS.

### C. O padrão TETRA

O TETRA - Rádio Terrestre Troncalizado foi definido e padronizado pelo ETSI (Instituto Europeu de Padronização de Telecomunicações) em 1994. A técnica de acesso ao meio é TDMA com taxa de transmissão de dados de 28800 bps. O esquema de modulação é PI/4 DQPSK, com um período de sincronização entre 800 e 25000 símbolos. O TETRA possui uma interface aérea, interface de equipamentos periféricos, interface homem-máquina, infraestrutura, gerenciamento de rede, interface entre sistemas, conexões com redes PSTN, ISDN, e redes IP, mostrado na Fig. 6.

O sistema TETRA possui arquitetura baseada no controle centralizado, ou seja, que pode ocorrer com um ou mais centros de chaveamento PCM, ou centro de chaveamento IP. Estas soluções podem ser distribuídas ou concentradas com base em sistemas usando um ou mais switches de rede central. Sistemas com controle centralizado são aplicáveis em estruturas grandes com mais de 100 estações base, ao passo que sistemas distribuídos aplicam-se a estruturas menores de até cinquenta (50) estações base. [8].

Os modos de operação são: serviço de dados curtos, modo pacote de dados e modo circuito de dados. Os terminais podem operar em modo de operação direta DMO, e com os repetidores, através de *gateways* de repetição ou estações base troncalizadas.

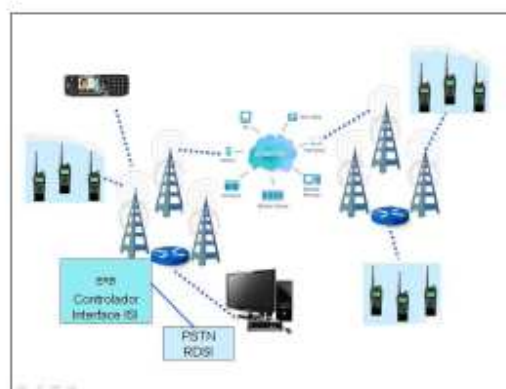


Figura 6. Interfaces de rede TETRA

O espaçamento de canal é de 25 kHz, onde uma portadora tem 4 canais físicos independentes acessados com a técnica TDMA, com a divisão em 4 *slots* de tempo com duração de 14,167 ms. O esquema de modulação é o TT/4-DQPSK, que

suporta uma taxa bruta de 36 kbps, e desta forma garante a taxa líquida de 28,8 kbps para algumas aplicações de dados, como mostrado na Fig. 7.

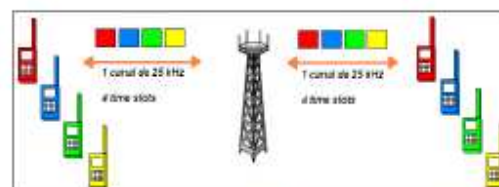


Figura 7. Comunicação TDMA sistema TETRA

O uso de criptografia no TETRA segue as recomendações do Grupo de Segurança e Prevenção a Fraudes (SFPG), a arquitetura suporta tipos como AES e IDEA, entretanto somente terminais TETRA permitem a utilização nestas recomendações. Um par de chaves pode ter na chave assimétrica, 1024 bits de comprimento para gerenciamento e 128 bits de encriptação aleatoriamente selecionáveis em  $10^{38}$  possibilidades de chaves para voz. Os recursos de chaves podem ainda ser divididos em chaves para pequenos usuários, chaves para uso comercial e chaves para segurança pública, sendo que neste último caso o número de usuários, e as aplicações exigem mais no que se refere à proteção da comunicação [9].

Os terminais portáteis podem utilizar modo econômico de energia que permite auto ajuste, conforme a necessidade em função da posição, distância e tempo de uso entre o terminal e a estação base. A pilha de protocolos TETRA é composta de camada física, camada de enlace e camada de rede. A conexão entre as camadas físicas e de enlace ocorre com os controles de acesso ao meio MAC e controle lógico de *link* LLC (Controle Lógico de Link). Na camada de rede existe o controle de entidade móvel/base. Acima deste último controle, existe o protocolo MM (Protocolo Multifunção), que controla os registros, autenticação, identidade, comunicação em modo direto, sinalização e economia de energia. Este protocolo MM está ligada a aplicação através do chaveamento e gerenciamento da infraestrutura SwMI, ilustrado na Fig. 8 [10].



Figura 8. Protocolo multifunção MM TETRA



O padrão TETRA possui uma versão chamada TEDS ou TETRA release 2, que permite taxa de dados de até 518 kbps. Esta seria a opção de transmissão de dados de maior velocidade atualmente dentro do padrão. Enquanto não surgirem novas modalidades e aplicações, o TETRA encontra-se em fase de adequação às novas demandas como o ajuste aos requisitos de quarta geração 4G ou LTE [11].

Sistemas TETRA encontram-se instalados nas forças de segurança de países europeus e asiáticos, no Brasil a polícia militar, corpo de bombeiros e polícia civil dos estados do Rio de Janeiro e da Bahia são os maiores usuários atualmente, além da aplicação deste nos jogos Pan-americanos de 2007 e jogos mundiais militares em 2010, ambos no Rio de Janeiro. No estado do Paraná, o TETRA é utilizado por empresas que prestam serviços de radiocomunicação e pela operadora ferroviária América Latina Logística – ALL.

#### D. O padrão TETRAPOL

O padrão TETRAPOL de rádio digital troncalizado surgiu na França no final da década de 90. Nesta fase do projeto foram criadas redes de radiocomunicações digitais envolvendo diferentes órgãos de segurança francesa. A Espanha passou a utilizar o protocolo em 1992. Em 1994, a República Tcheca adquiriu equipamentos TETRAPOL, o México, no ano seguinte, instalou redes digitais deste padrão na capital [12].

Conforme divulgado pelo fórum TETRAPOL, este sistema tem sido utilizado por órgãos governamentais e por empresas privadas. Em função disso, diferentes empresas de telecomunicações se reuniram e fundaram um fórum de discussões para o desenvolvimento do padrão em âmbito global. A partir dessa iniciativa, as especificações técnicas foram compartilhadas e o detalhamento da tecnologia permitiu a divulgação desse formato de rádio digital para a fabricação em larga escala industrial. Assim como nos demais padrões, têm-se rádios fixos, móveis, portáteis, repetidores, controladores entre outros.

No TETRAPOL a técnica de múltiplo acesso é o FDMA, ou seja, Acesso Múltiplo por Divisão de Frequências (FDMA) e o esquema de Modulação utilizado é o GMSK, chaveamento gaussiano mínimo. A faixa de frequência de operação é de 70 a 520 MHz. Na Europa, o TETRAPOL é operado na faixa de 380 a 400 MHz, em canais dedicados à segurança pública e aplicações de defesa envolvendo segurança nacional. Dessa forma, utiliza-se a faixa de UHF (*Ultra High Frequency*) com a canalização de 10 kHz ou 12,5 kHz e espaçamento de 5 MHz na modalidade Duplex [12].

No Brasil, o principal usuário é a Polícia Federal que optou por este sistema a partir de 2003. A estrutura funciona na faixa de 450 a 470 MHz. A partir de 2010, houve necessidade de uma mudança para faixa de 380 MHz a 400 MHz, para adequação à resolução 557 da Anatel [2].

A escolha do TETRAPOL pela Polícia Federal deve-se aos requisitos de segurança disponíveis neste padrão, bem como as condições de aquisição disponíveis ao Brasil a época. O objetivo foi garantir comunicação eficiente e segura para as operações da Polícia Federal no território nacional. A estrutura de segurança do rádio digital do padrão TETRAPOL é baseada em uma interface aérea com criptografia fim-a-fim,

isto é, não se admite conexões na rede diversa do formato original. O processo se dá da seguinte forma: A interface aérea é criptografada e possui chaves de autenticação para os terminais móveis. Essas chaves lógicas estão armazenadas em cartões SIM (Subscriber Identity Module) nos terminais, com tecnologia semelhante à telefonia móvel. Cada terminal também possui um código numérico pessoal (PIN) de identificação, que é requisitado pelo canal de controle durante a habilitação do terminal na rede TETRAPOL. Desse modo, as comunicações que fluem do terminal móvel, passando pela interface aérea, estação base, até o terminal de destino são criptografadas. Torna-se possível a utilização de chaves entre redes, grupos de chamadas, e entre terminais, assim é possível que dois policiais mantenham uma conversa com nível de segurança elevado, onde apesar da informação transitar pela infraestrutura, nenhum outro interlocutor percebe a comunicação [13].

Na rede TETRAPOL a formatação dos quadros possibilita o fluxo dos dados em canais lógicos em toda a trajetória, desde o seu envio pelo terminal móvel, passando pelo repetidor, fluindo pela rede IP, até chegar ao seu destino. Para as interconexões das redes deve-se utilizar um conversor de canal. Este equipamento permite a interoperabilidade de um terminal que opera em outro padrão com o formato TETRAPOL. Esse módulo conversor pode ser utilizado em diferentes canais para integração na interface aérea, mas possui certa dificuldade de implantação, uma vez que deve integrar tecnologias distintas. Este posicionamento técnico pode ser visto na Fig. 9.



Figura 9. Interface aérea da rede TETRAPOL.

Outros países também implantaram o TETRAPOL nas redes de segurança pública, como por exemplo, a Romênia e a Eslováquia, assim como as forças armadas da Espanha.

#### E. Estudo de Caso

O governo federal brasileiro através do Ministério da Justiça mantém uma subpasta, que é a Secretaria Nacional de Segurança Pública – SENASP, criada em 1997, responsável pela política pública entre os estados e a união, integração, ações conjuntas, planejamento e gerenciamento da segurança pública na esfera federal. Dentro das atribuições da SENASP, criou-se o grupo ENAFRON, responsável pela estratégia nacional nas fronteiras do Brasil, ou seja, na parte terrestre as divisas com os 10 países fronteiriços.



Dentro das atividades do grupo ENAFRON, foi composto um subgrupo para estudo e detalhamento de um padrão de radiocomunicação digital, troncalizado, inter operável e aplicável a toda a faixa de fronteira do Brasil. Para tanto foram estudados os principais padrões de radiocomunicação que são: TETRA, TETRAPOL e APCO-25, e em razão das diferenças entre os sistemas, foram propostos pelo grupo testes entre as três tecnologias, sendo escolhida a cidade de Oriximiná no interior do Estado do Pará, na região amazônica.

Os testes foram definidos a partir de uma rotina escrita por pesquisadores da Universidade Federal do Paraná e realizados sob a supervisão da ANATEL. A Fig. 10 fornece os dados comparativos entre as diversas características do sistema em cada fase considerada.

	APCO-25 1	APCO-25 2	TETRA 1	TETRA 2	TETRAPOL
Modulação	GFSK	COFSK	m4 DQPSK	m4 DQPSK	GMSK
Faixa de Frequência	1,2,3,4	1,2,3,4	6	6	1
Espargimento do canal (kHz)	12,5	6,25	6,25	6,25	12,5
Canal de Controle (kHz)	12,5	6,25	6,25	6,25	12,5
Canais em 25 kHz	2	4	4	4	2
Potência Portátil (W)	5	5	3	3	5
Potência Móvel (W)	45	45	10	10	10
Potência Base (W)	45	45	75	75	75
Compatível com Analógicos	sim	sim	não	não	Não
Sistema Convencional	sim	sim	não	não	Não
Sistema Troncalizado	sim	sim	sim	sim	Sim
Técnica de Múltiplo Acesso	FDMA	TDMA	TDMA	TDMA	FDMA
Codificador de Voz	INCE	AMCE	ACELP	ACELP	RPCELP
Criptografia	des-cripções	des-cripções	TEA	TEA	
Taxa de Tx. Dados (kbps)	9,6	9,6	20,0	510	7,2
Controle de Potência Portátil	Não	Não	Sim	Sim	Sim

Hz	1	2	3	4	5	6
Hz	136-174	380-512	746-806	806-870	70-520	290-800

Figura 10. Quadro comparativo dos padrões APCO-25, TETRA e TETRAPOL.

Nos testes realizados em Oriximiná/PA, foram testados os sistemas APCO-25 convencional na faixa de 470 MHz e o sistema TETRA em 400 MHz. A área de medições pode ser visualizada na Fig. 11.

ID	LATITUDE	LONGITUDE	(km)
BASE	1.77041667	55.85969444	
L01	1.77386111	55.85711111	0.47902252
L02	1.77730556	55.85400000	0.99436433
L03	1.77858333	55.85280556	1.18865338
L04	1.76716667	55.86297222	0.51351302
L05	1.76397222	55.86683333	0.99017497
L06	1.76077778	55.86869444	1.46711947
L07	1.75863889	55.87081111	1.78668346
NS1	1.76038889	55.86247222	1.15783228
NS2	1.75725000	55.85950000	1.46529361
NS3	1.75408333	55.85655556	1.85073460
NS4	1.75075000	55.85350000	2.29431765
NS5	1.74758333	55.85055556	2.73657913
NS6	1.74413889	55.84750000	3.22333026
NS7	1.74055556	55.84477778	3.71399230
NS8	1.73711111	55.84225000	4.18327266
NS9	1.73347222	55.83961111	4.67869631
NS10	1.72988889	55.83700000	5.16811813
NS11	1.72622222	55.83456666	5.66707362
NS12	1.72258333	55.83191667	6.16439374
NS13	1.71838889	55.83022222	6.66306477
NS14	1.71492222	55.82903611	7.05414140
NS15	1.71033333	55.82675000	7.62410515
NS16	1.70422222	55.80930556	9.52341931
NS17	1.67950000	55.79163889	12.63519319
NS18	1.66897222	55.78000000	14.35264502
NS19	1.64797222	55.77830556	16.35829022
RS01	1.79038511	55.85644722	2.25127872
RS02	1.80588889	55.83916667	4.55995130
RS03	1.81669444	55.82747222	6.27392126
RS04	1.84306556	55.79527778	10.80110559

Figura 11. Área de medição.

A Fig. 12 mostra uma visão aérea da região onde foram realizados os testes, sendo ressaltados os pontos de medição. Justifica-se a escolha da cidade de Oriximiná no interior do estado do Pará, pelo fato da mesma encontrar-se em região inóspita brasileira cercada de densa floresta amazônica e uma quantidade significativa de rios em seu entorno. Desse modo, o funcionamento das tecnologias em estudo estaria operando de acordo com as premissas interpostas para sistemas de proteção e vigilância de fronteira.



Figura 12. Imagem com os pontos medidos nos testes em Oriximiná

O Laboratório de Telecomunicações - LabTelecom do Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR elaborou uma rotina de testes para comparação entre os padrões utilizados em segurança pública. Esta rotina foi homologada pela ANATEL na forma de Nota Técnica. Procurou-se durante a fase de testes, a observação do comportamento não só das tecnologias, mas também dos componentes elétricos, das partes mecânicas, das antenas, bem como a observação da potência dos equipamentos e da frequência de operação. Como o desenvolvimento de soluções numéricas de apoio para análise de cobertura depende não só da identificação e da solução para integração dos modelos de propagação, mas também da base de dados para a concepção adequada do projeto, foram utilizados dois *softwares*, sendo o *Radiomobile* desenvolvido pelo canadense Roger Coudé, que utiliza base de dados SRTM e modelo de propagação Longley-Rice e o Celplanner, produto comercial da brasileira Celplan que suporta várias tecnologias. O uso dos mesmos possibilitou então a medição de altimetria e de morfologia fatores fundamentais na análise dos resultados. A Fig. 13 mostra uma imagem da topografia dos pontos de medição pelo uso do *Radiomobile*.

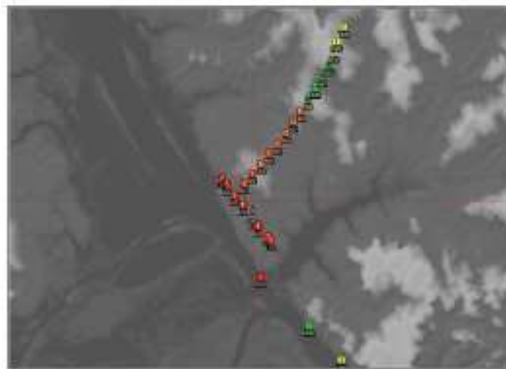


Figura 13. Imagem da topografia de Oriximiná no *Radiomobile*.

As Fig. 14, 15 e 16 mostram não apenas a mesma área topográfica utilizada pelo Celplanner, como também uma imagem monocromática e uma imagem colorida tridimensional da região em análise.

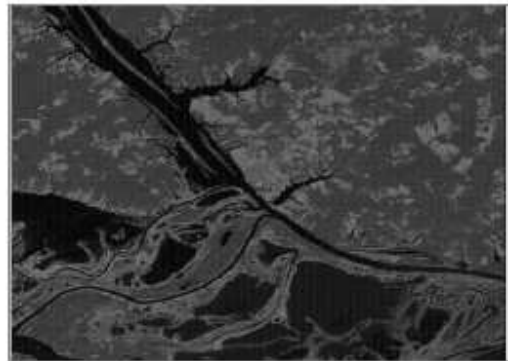


Figura 14. Imagem da topografia de Oriximiná no Celplanner.

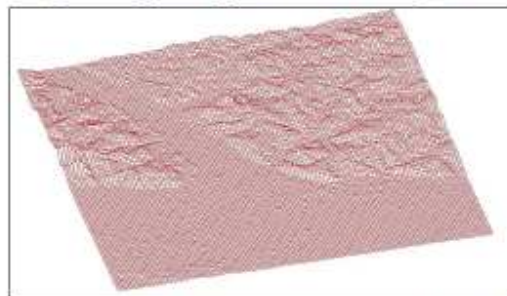


Figura 15. Imagem monocromática 3D de Oriximiná no Celplanner.

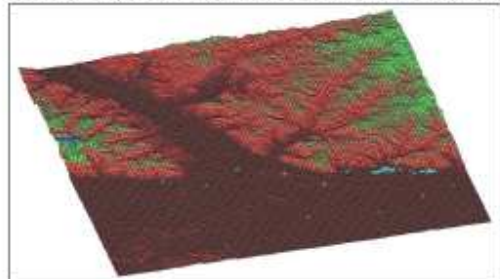


Figura 16. Imagem colorida 3D de Oriximiná no Celplanner.

Paralelamente foi desenvolvido em Matlab®, no LabTelecom, um algoritmo capaz de reproduzir os resultados dos testes em Oriximiná, da mesma forma que *softwares* comerciais utilizados. Com o uso do conjunto de API's do *Google maps* foram extraídos os dados de arreamento da cidade bem como de seus limites geográficos. Estes dados foram então inseridos no algoritmo desenvolvido e os resultados obtidos podem ser observados na Fig. 17.



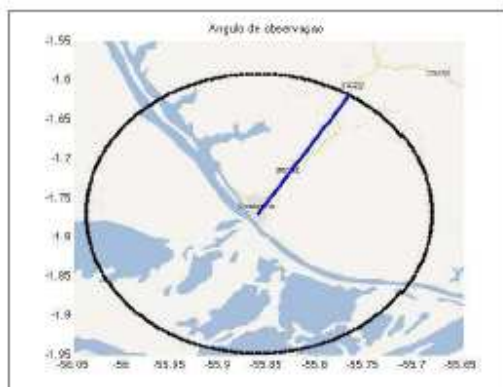


Figura 17. Mapa de Orizimima com círculo de cobertura e ângulo de observação no algoritmo.

Do mesmo modo o perfil do terreno e o decaimento de potência em dBm, neste algoritmo para um raio de 20 km de distância são mostrados na Fig. 18.

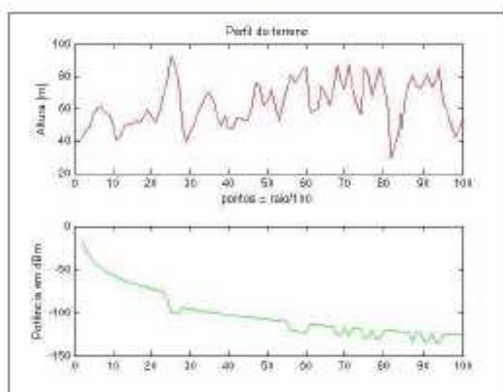


Figura 18. Perfil do terreno e decaimento de potência no algoritmo.

A Fig. 19 mostra uma imagem 3D monocromática gerada pelo algoritmo.

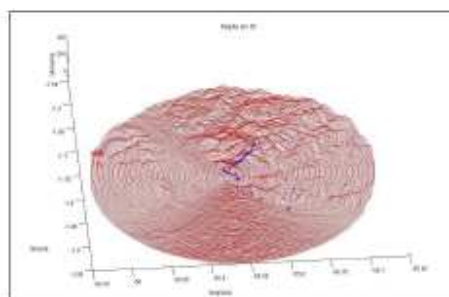


Figura 19. Imagem monocromática 3D com os pontos de medição no algoritmo.

Os pontos de medição são marcados sobre a imagem 3D da região do teste. Durante a realização do mesmo, uma equipe da Anatel e representantes das empresas permaneceram junto a ERB e quando outro grupo foi a campo efetuando o deslocamento com os equipamentos de medição embarcados em veículo, numa trajetória ao longo dos pontos apresentados na Fig 11, como visto anteriormente. Nos últimos quatro pontos, a medição foi realizada a bordo de embarcação e o deslocamento ocorreu ao longo do rio Trombetas em direção a cidade de Santarém.

A Fig. 20 mostra o conjunto antena - analisador de espectro.

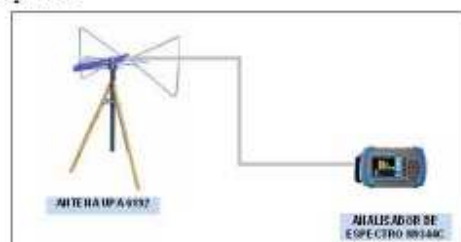


Figura 20. Esquema antena analisador de espectro.

A torre onde foram instalados os equipamentos possuía 80m de altura, no entanto para o teste padronizou-se uma altura de 36 metros a partir do pé da torre. Ao término do teste, foi solicitado às empresas participantes um relatório circunstanciado das medições. A partir destes dados foi gerada a Fig. 21, com os níveis de potência medidos em dBm na ordenada, o que mostra as diferenças de aferição e de medição entre os rádios Tait e Motorola que operaram com a mesma potência e frequência próxima. A observação dos resultados, entretanto apontam diferenças nas potências recebidas.

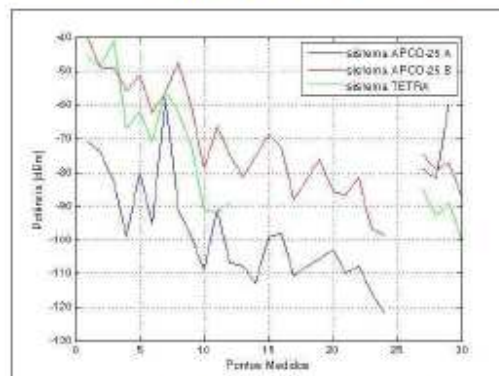


Figura 21. Medidas apresentadas pelos fabricantes.

Na Fig. 22 onde se tem as medições realizadas pela Anatel é possível observar os dados coletados e comparar o desempenho dos sistemas ao longo do percurso.

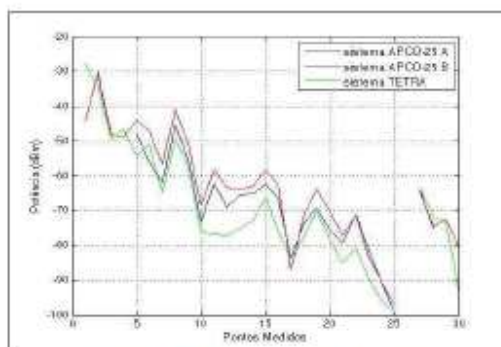


Figura 22. Medidas apresentadas pela Anatel.

Após a conclusão dos testes, buscou-se uma calibração e uma configuração similar dos parâmetros testados para se executar a predição de cobertura no Celplaner. O resultado do APCO-25 é apresentado na Fig. 23.

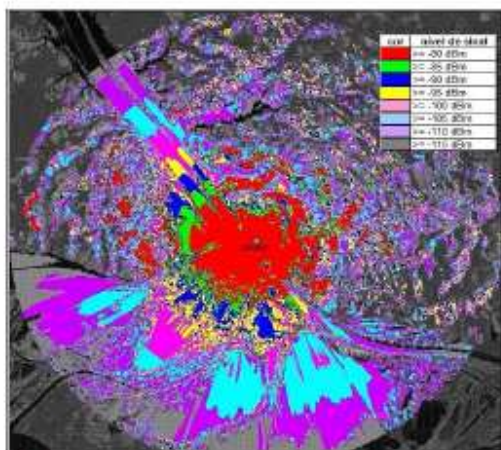


Figura 23. Predição de cobertura do APCO-25 no Celplaner.

Por sua vez o resultado do TETRA é apresentado na Fig. 24.

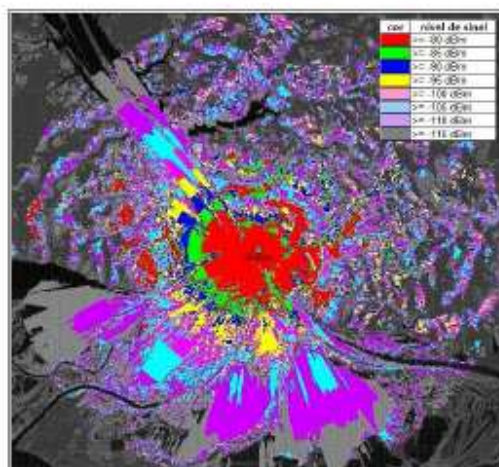


Figura 24. Predição de cobertura do TETRA no Celplaner.

## II. CONCLUSÕES

Diante dos esforços para adequação e padronização de sistemas digitais de radiocomunicação, verificou-se a necessidade de utilização de um sistema digital único, com infraestrutura robusta para utilização em todo o território nacional, nas esferas federal, estadual e municipal de forma compartilhada e controlada pelos órgãos de segurança envolvidos.

Como o Brasil é carente de tecnologia própria para definição de um padrão brasileiro, resta à decisão de escolha de um sistema que tenha maior longevidade possível, com maior quantidade de recursos, menor custo, e que permita a aplicação de segurança como as chaves de criptografia de uso do governo brasileiro.

Acerca dos testes, cabe ressaltar que as empresas que representaram o sistema APCO-25, apresentaram estrutura convencional com repetidores configurados em 100 W e o sistema TETRA foi configurado com 10 W, sendo a operação troncalizada nativa deste padrão. É válido ressaltar que, por motivos operacionais, não foi testado o padrão TETRAPOL. Os sistemas APCO-25 e TETRA tiveram um desempenho satisfatório sob o aspecto cobertura, entretanto apesar das dificuldades do local da instalação, foi possível verificar um resultado ligeiramente superior do sistema TETRA, com relação a capacidades de dados, ao sincronismo entre os terminais e a ERB, uma vez que este sistema operou em modo troncalizado. Outro fator relevante foi a característica de controle automático de nível de potência dos terminais portáteis, o que proporcionou maior durabilidade das baterias no mesmo tempo de uso.

Desta forma apesar de ser considerado tardio, o sistema de segurança brasileiro passará a contar com uma plataforma moderna de radiocomunicação digital, com características e funcionalidades mínimas de transmissão de voz e dados, e ainda com estrutura que permita fácil migração ou integração de tecnologias de quarta geração.



## AGRADECIMENTOS

A SENASP, a ANATEL, ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR, ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFT, as empresas Motorola Solutions, Tait Radiocommunications, e Teltronic S.A. E ainda a todos que contribuíram para que fosse possível a realização dos testes em região remota e inóspita como a floresta amazônica no entorno do município de Oriximiná no Estado do Pará.

## REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Lei n. 9.472, de 16 de julho de 1997. Dispõem sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995. *Diário Oficial da União* - 17/07/1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19472.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19472.htm)>. Acesso em: 10. nov. 2012.
- [2] Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL - "Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil." Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/pdf/>>. Acesso em: 10. nov. 2012.
- [3] BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações. Resolução nº 557, de 2012. Brasília, DF, mar. 2012.
- [4] Eric R. Ramsey, W. Thomas Miller III, Andrew L. Kun, "A Software Based Implementation of an APCO Project 25 Compliant Packet Data Transmitter", University of New Hampshire, Dept. of Electrical & Computer Engineering, IEEE pp 410-414, 2008.
- [5] Daniels Electronics "P25 Radio Systems Training Guide". Disponível em: <[http://www.danelec.com/library/english/p25\\_training\\_guide.asp](http://www.danelec.com/library/english/p25_training_guide.asp)>. Acesso em: 04. nov. 2012.
- [6] Paul Kiley, Thomas Benedetti, "Public Safety Interoperability With an Sca Military Radio Using The P25 Waveform", Military Communications Conference, IEEE, 2007.
- [7] Talal Diab, Philippe Martins, Philippe Godlewski, "Control Channel Scheduling for Apco Phase 2 Air Interface", The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'06), 2006.
- [8] Marijan Miculić, Borivoj Modilić, "General System Architecture of Tetra Network for Public Safety Services", 50th International Symposium ELMAR-2008, 10-12 September 2008, Zadar, Croatia, IEEE pp 207-210, 2008.
- [9] Marian Buric, "Voice End-to-End Encrypted for TETRA Radiocommunication System", 8<sup>th</sup> International Conference On Communications IEEE pp 419-422, 2010.
- [10] Sun Xin, "Research on Energy Economy Mode in TETRA Digital Trunking System" School Of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiao Tong University, China, First International Conference on Pervasive Computing, Signal Processing, And Applications IEEE pp 1180-1183, 2010.
- [11] Apostolis K. Salkintzis "Evolving Public Safety Communication Systems by Integrating WLAN and TETRA Networks", Communications Magazine IEEE pp 38-46, 2006.
- [12] TETRAPOL Especificação de Avaliação Pública 1.16.1 - Security Services. Paris: Fórum TETRAPOL, 2006.
- [13] TETRAPOL Especificação de Avaliação Pública 1.11.3 - Gateway to IP Networks. Paris: Fórum TETRAPOL, 1997.

## I. SOBRE OS AUTORES



E. NASCIMENTO Jr. - Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, possui especialização em Teleinformática e Redes de Computadores e está concluindo mestrado em Engenharia Elétrica - Telecomunicações na Universidade Federal do Paraná - UFPR. Trabalha na Secretaria de Segurança Pública do Paraná, onde já atuou em projetos e implantação de sistemas de radiocomunicação digital. Participa do Grupo de Trabalho sobre Radiocomunicações da Estratégia Nacional de Fronteiras - ENAFRON - SENASP, Ministério da Justiça.



H. TERTULIANO F. - Professor Associado IV da Universidade Federal do Paraná, Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, possui especialização pela Universidade de Brasília, Mestrado pela Universidade da Bretanha Ocidental, Doutorado pela Universidade de Bordeaux I e Pós-doutorado pela Universidade de Montreal toda a sua formação deu-se em Telecomunicações. Participa do Grupo de Trabalho sobre Radiocomunicações da Estratégia Nacional de Fronteiras - ENAFRON - SENASP, Ministério da Justiça.



J. R. DESCARDECÍ - Professor Associado IV da Universidade Federal do Tocantins, Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Ilha Solteira - UNESP. Mestrado em Eng. Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Doutorado em Engenharia Elétrica pela Université de Lousanne na Suíça.



D. TORA - Professor Adjunto IV da Universidade Federal do Paraná, Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Passo Fundo - UFP. Mestrado e Doutorado em Física pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.



E. C. ROLIN - Professor do Instituto Federal do Paraná, Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Santa Catarina - UDESC, possui especialização em Telecomunicações pela Universidade Federal do Paraná - UFPR, atualmente é aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela UFPR.



T. M. S. OTOBO - Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará - UFPA. Atualmente é aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná - UFPR.